



Уральский государственный
аграрный университет

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

2024

T. 24, № 01

Vol. 24, No. 01

ISSN (print) 1997-4868
e ISSN 2307-0005

Сведения о редакционной коллегии

И. М. Донник (главный редактор), академик РАН, помощник президента Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (Москва, Россия)

О. Г. Лоретц (заместитель главного редактора), ректор Уральского государственного аграрного университета (Екатеринбург, Россия)

П. Сотони (заместитель главного редактора), доктор ветеринарных наук, профессор, академик Венгерской академии наук, академик Польской медицинской академии, ректор Университета ветеринарной медицины Будапешта (Будапешт, Венгрия)

Члены редакционной коллегии

Н. В. Абрамов, Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)

Р. З. Аббас, Сельскохозяйственный университет (Фейсалабад, Пакистан)

В. Д. Богданов, член-корреспондент РАН, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия)

В. Н. Большаков, академик РАН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)

О. А. Быкова, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)

Э. Д. Джавадов, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)

Л. И. Дроздова, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)

А. С. Донченко, академик РАН, Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (Новосибирск, Россия)

Б. С. Есенгельдин, Павлодарский педагогический университет (Павлодар, Казахстан)

Н. Н. Зезин, член-корреспондент РАН, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Екатеринбург, Россия)

С. Б. Исмурагов, Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова (Костанай, Казахстан)

В. В. Калашников, академик РАН, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства (Рязань, Россия)

А. Г. Кошасев, академик РАН, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)

У. Р. Матякубов, Ургенчский государственный университет (Ургенч, Узбекистан)

В. С. Мымрин, ОАО «Уралплемцентр» (Екатеринбург, Россия)

М. С. Норов, Таджикский аграрный университет имени Шириншо Шотемур (Душанбе, Таджикистан)

В. С. Паштецкий, член-корреспондент РАН, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Россия)

Ю. В. Плугатарь, член-корреспондент РАН, член Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию, начальник Отдела РАН по взаимодействию с научными организациями Крыма и города федерального значения Севастополя, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН (Ялта, Россия)

М. Б. Ребезов, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, (Москва, Россия)

О. А. Рущицкая, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)

А. Г. Самodelкин, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия (Нижний Новгород, Россия)

А. А. Стекольников, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)

В. Г. Турин, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии (Москва, Россия)

И. Г. Ушачев, академик РАН, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства (Москва, Россия)

С. В. Шабунин, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии Россельхозакадемии (Воронеж, Россия)

И. А. Шкуратова, Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт (Екатеринбург, Россия)

А. В. Щур, Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

Editorial board

Irina M. Donnik (Editor-in-Chief), academician of the Russian Academy of Sciences, Assistant to the President of the National Research Center “Kurchatov Institute” (Moscow, Russia)

Olga G. Lorets (Deputy Chief Editor), rector of the Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

Péter Sótonyi (Deputy chief editor) of doctor of veterinary sciences, professor, academician of Hungarian Academy of Sciences, academician of Polish Medical Academy, rector of University of Veterinary Medicine of Budapest (Budapest, Hungary)

Editorial Team

Nikolay V. Abramov, Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)

Rao Zahid Abbas, University of Agriculture (Faisalabad, Pakistan)

Vladimir D. Bogdanov, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russia)

Vladimir N. Bolshakov, academician of the Russian Academy of Sciences, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia)

Olga A. Bykova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

Eduard D. Dzhavadov, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research and Technological Poultry Institute (St. Petersburg, Russia)

Lyudmila I. Drozdova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

Aleksandr S. Donchenko, academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Experimental Veterinary Science of Siberia and the Far East (Novosibirsk, Russia)

Bauyrzhan S. Yessengeldin, Pavlodar Pedagogical University Republic of Kazakhstan

Nikita N. Zezin, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Ural Research Institute of Agricultural (Ekaterinburg, Russia)

Sabit B. Ismuratov, Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov (Kostanay, Kazakhstan)

Valeriy V. Kalashnikov, academician of the Russian Academy of Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, the All-Russian Research Institute for Horsebreeding (Ryazan, Russia)

Andrey G. Koshchayev, academician of the Russian Academy of Sciences, Kuban State Agrarian University (Krasnodar, Russia)

Umiddjon R. Matyakubov, Urgench State University (Urgench, Uzbekistan)

Vladimir S. Mymrin, “Uralplemstentr” (Ekaterinburg, Russia)

Mastibek S. Norov, Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur (Dushanbe, Tajikistan)

Vladimir S. Pashetskii, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture of Crimea (Simferopol, Russia)

Yuriy V. Plugatar, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, member of the Presidential Council for Science and Education, Head of the Department of the Russian Academy of Sciences for Cooperation with Scientific Organizations of Crimea and Sevastopol, The Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of Russian Academy of Sciences (Yalta, Russia)

Maksim B. Rebezov, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Olga A. Rushchitskaya, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

Aleksandr G. Samodelkin, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy (Nizhny Novgorod, Russia)

Anatoliy A. Stekolnikov, academician of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine (Saint Petersburg, Russia)

Vladimir G. Tyurin, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology (Moscow, Russia)

Ivan G. Ushachev, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics (Moscow, Russia)

Sergey V. Shabunin, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Voronezh, Russia)

Irina A. Shkuratova, Ural Research Veterinary Institute (Ekaterinburg, Russia)

Aleksandr V. Shchur, Belarusian-Russian University (Mogilev, Belarus)

Содержание

Contents

Агротехнологии

Agrotechnologies

Ю. С. Иванова, М. Н. Фомина, А. А. Ярославцев Оценка коллекции овса по основным биохимическим показателям качества в условиях Тюменской области	2	Yu. S. Ivanova, M. N. Fomina, A. A. Yaroslavtsev Evaluation of the oat collection according to the main biochemical quality indicators in the conditions of the Tyumen region
Л. В. Сухарева Действие биопрепаратов на ростовые параметры Sorghum sudanense (Piper) Stapf	12	L. V. Sukhareva Effect of biopreparations on growth parameters of Sorghum sudanense (Piper) Stapf
А. А. Тевченков, З. С. Федорова, Е. И. Сеничев Урожайность сортов сои в Центральном Нечерноземье при использовании различных норм внесения регулятора роста	22	A. A. Tevchenkov, Z. S. Fedorova, E. I. Senichev Productivity of soybean varieties in the Central Non-Chernozem region using different rates of growth regulator application
Л. П. Шаталина, Ю. Б. Анисимов, Ю. С. Мошкина Влияние севооборотов на плодородие выщелоченных черноземов Южного Урала	32	L. P. Shatalina, Yu. P. Anisimov, Yu. S. Moshkina The influence of crop rotations on the fertility of leached chernozems of the Southern Urals
Биология и биотехнологии		
Е. А. Ёылдырым, Л. А. Ильина, В. А. Филиппова, К. А. Калиткина, А. В. Дубровин Состав микрофлоры химуса пищеварительной системы и молочная продуктивность коров в период раздоя под влиянием комплексного биопрепарата	46	E. A. Yildirim, L. A. Ilyina, V. A. Filippova, K. A. Kalitkina, A. V. Dubrovin The composition of the microflora of the digestive system chyme and dairy productivity of cows during the milking period under the influence of a complex biological preparation
Е. А. Колесник, М. А. Дерхо, М. Б. Ребезов Функциональные морфоденситометрические параметры хроматина ядра и цитоплазмы эритробластов и эритроцитов птиц в постэмбриональном онтогенезе	59	E. A. Kolesnik, M. A. Derkho, M. B. Rebezov Functional morpho-densitometric parameters of chromatin of the nucleus and cytoplasm of erythroblasts and red blood cells of birds in postembryonic ontogenesis
Т. В. Маракаева Фенотипическая изменчивость селекционных линий чечевицы (<i>Lens culinaris</i> L.) по элементам семенной продуктивности в экологических условиях Омской области	86	T. V. Marakaeva Phenotypic variability of breeding lines of lentils (<i>Lens culinaris</i> L.) according to the elements of seed productivity in the ecological conditions of the Omsk region
Е. Ю. Облогина, Н. Н. Забашта, Е. Н. Головко, И. А. Синельщикова, Е. П. Лисовицкая Результаты применения кормовой добавки пробиотического действия для повышения продуктивности дойных коров	98	E. Yu. Oblogina, N. N. Zabashta, E. N. Golovko, I. A. Sinelshchikova, E. P. Lisovitskaya The results of the application of a probiotic feed additive to increase the productivity of dairy cows
А. В. Степанов, О. А. Быкова, О. В. Костюнина, С. Д. Пильникова Определение взаимосвязи генотипов SNP с содержанием жирных кислот различной пространственной конфигурации в молоке коров	108	A. V. Stepanov, O. A. Bykova, O. V. Kostyunina, S. D. Pilnikova Determination of the relationship between SNP genotypes and the content of fatty acids of various spatial configurations in cow milk
О. М. Шевелева, А. А. Бахарева Эффективность производства говядины при чистопородном разведении французских мясных пород скота	119	O. M. Sheveleva, A. A. Bakharev Efficiency of beef production in the purebred breeding of French beef cattle breeds
Экономика		
С. В. Брагинец, О. Н. Бахчевников, Д. В. Рудой Экономическое обоснование уборки зерновых культур ранних фаз спелости очесом и приготовления корма из необмолоченного вороха	128	S. V. Braginets, O. N. Bakhchevnikov, D. V. Rudoy Economic justification of harvesting cereal crops of early ripeness phases by stripping and preparing feed from unthreshed ears
Н. Ю. Зубарев, А. А. Урасова, Л. В. Глезман, С. С. Федосеева, Ю. Н. Зубарев Значимые факторы развития рынка сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов в новых реалиях	139	N. Yu. Zubarev, A. A. Urasova, L. V. Glezman, S. S. Fedoseeva, Yu. N. Zubarev Significant factors in the development of the agricultural unmanned aerial vehicles market in new realities

Оценка коллекции овса по основным биохимическим показателям качества в условиях Тюменской области

Ю. С. Иванова[✉], М. Н. Фомина, А. А. Ярославцев

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия

[✉]E-mail: averyasova-ulyiy@mail.ru

Аннотация. Овес является важным источником ценных питательных веществ, особенно белка и жира, со сбалансированным аминокислотным составом. В этом исследовании представлены многолетние данные по изучению качества зерна пленчатого овса в Тюменской области. **Цель исследования** состояла в том, чтобы оценить биохимический потенциал различных коллекционных сортов пленчатого овса для привлечения в селекционный процесс в условиях Тюменской области. **Материалы и методы исследования.** В 2019–2021 гг. на опытном поле НИИСХ Северного Зауралья (Тюменская область, Россия), высевались 167 сортов пленчатого овса различного эколого-географического происхождения с использованием общепринятых методов. **Результаты.** Наиболее благоприятные условия для формирования белка в зерне овса были в 2019 г. (коэффициент корреляции $r = -0,59$) и 2020 г. ($r = -0,34$). Корреляционная связь урожайности с содержанием жира и содержанием крахмала была несущественной. Содержание белка в зерне овса за годы изучения составило: в 2019 г. – 7,87–13,58 %, в 2020 г. – 8,74–13,33 %, в 2021 г. – 7,25–14,05 %. По содержанию белка в зерне выделились сорта к-15321 (Ленинградская область); к-15262 (США). Содержание жира в зерне овса в 2019 г. – 4,35 %, в 2020 г. – 4,00 %, в 2021 – 3,62 %. Наибольший интерес представляют сорта к-15311 (Ленинградская область); к-15353 (Норвегия); к-15256 (США); к-15254 (Канада). Содержание крахмала в зерне овса составило в 2019 г. – 57,63 %, в 2020 – 58,40 %, в 2021 – 51,04 %. Выделились сорта к-15330, к-15331, к-15329 (Ульяновская обл.); к-14863 (Эстония); к-15378 (Германия); к-15307 (США); к-14953 (Австралия). Наибольший интерес представляют сорта овса, которые сочетают в себе комплекс биохимических признаков: к-15278 (Московская обл.); к-15311 (Ленинградская обл.); к-15330, к-15329 (Ульяновская обл.); к-15378 (Германия); к-15307 (США); к-14953 (Австралия). **Научная новизна.** Проведена многолетняя оценка 167 сортов ярового овса по биохимическим показателям качества, выявлены источники, которые представляют наибольший интерес для селекции.

Ключевые слова: овес, белок, жир, крахмал, корреляция, селекция.

Для цитирования: Иванова Ю. С., Фомина М. Н. Ярославцев А. А.. Характеристика зерна коллекционных сортов ярового овса по биохимическим показателям качества в Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11.

Дата поступления статьи: 25.09.2023, **дата рецензирования:** 20.10.2023, **дата принятия:** 21.11.2023.

Evaluation of the oat collection according to the main biochemical quality indicators in the conditions of the Tyumen region

Yu. S. Ivanova[✉], M. N. Fomina, A. A. Yaroslavtsev

Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

[✉]E-mail: averyasova-ulyiy@mail.ru

Abstract. Oats are an important source of valuable nutrients, especially protein and fat, with a balanced amino acid composition. This study presents long-term data on the study of the quality of grain of filmy oats in the Tyumen region. **The purpose** of this study was to evaluate the biochemical potential of various collectible varieties of filmy oats for involvement in the breeding process in the conditions of the Tyumen region. **Materials and methods of the research.** In 2019–2021, 167 varieties of filmy oats of various ecological and geographical origin were sown on the experimental field of the Northern Trans-Urals Research Institute, Tyumen Region (Russia), using generally accepted methods. **Results.** The most favorable conditions for the formation of protein in oat grain were 2019 (correlation coefficient $r = -0.59$) and 2020 ($r = -0.34$). The correlation of yield with fat content and starch content was not significant. The protein content in oat grain over the years of study was: in 2019 7.87–13.58 %, in 2020 – 8.74–13.33 %, in 2021 – 7.25–14.05 %. According to the protein content in the grain, the following varieties were distinguished: k-15321 (Leningrad region); k-15262 (USA). Fat content in oat grain in 2019 – 4.35 %, in 2020 – 4.00 %, in 2021 – 3.62 %. The most interesting varieties are k-15311 (Leningrad region); k-15353 (Norway); k-15256 (USA); k-15254 (Canada). The starch content in oat grain was in 2019 – 57.63 %, in 2020 – 58.40 %, in 2021 – 51.04 %. Varieties were distinguished: k-15330, k-15331, k-15329 (Ulyanovsk region); k-14863 (Estonia); k-15378 (Germany); k-15307 (USA); k-14953 (Australia). The most interesting are oat varieties that combine a complex of biochemical characteristics: k-15278 (Moscow region); k-15311 (Leningrad region); k-15330, k-15329 (Ulyanovsk region); k-15378 (Germany); k-15307 (USA); k-14953 (Australia). **Scientific novelty.** A long-term evaluation of 167 varieties of spring oats according to biochemical quality indicators was carried out, the sources that are of the greatest interest for breeding were identified.

Keywords: oats, protein, fat, starch, correlation, selection.

For citation: Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Yaroslavtsev A. A. Otsenka kollektzii ovsa po osnovnym biokhimi-cheskim pokazatelyam kachestva v usloviyakh Tyumenskoy oblasti [Evaluation of the oat collection according to the main biochemical quality indicators in the conditions of the Tyumen region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11. (In Russian.)

Date of paper submission: 25.09.2023, **date of review:** 20.10.2023, **date of acceptance:** 21.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Овес (*Avena sativa*) – это злаковое растение, используемое в основном для кормления крупного рогатого скота (70 %) и потребления человеком (30 %) [1].

В последние годы интерес к овсу как к высокоценной зерновой культуре постоянно растет [2]. В настоящее время ежегодное мировое производство этого злака составляет в среднем 28 млн т. Основными производителями овса являются страны ЕС, Канада, Россия, США и Австралия. Урожай ежегодно оценивается примерно в 26 млн т, из которых на долю ЕС (25 стран) приходится около 9 млн т (35 %) [3].

Питательный профиль овса включает высококачественный белок, ненасыщенные жиры, растворимую клетчатку, полифенольные соединения и микроэлементы [4]. Овес является хорошим источником растворимых пищевых волокон, особенно β -глюкана, который обладает выдающимися функциональными свойствами и чрезвычайно важен в питании человека [5].

Зерно овса отличается высоким содержанием белка и характерным белковым составом [6]. Большинство злаков (включая ячмень, пшеницу и рожь) в значительной степени состоят из проламинов в качестве основных белков для хранения, но овес является исключительным случаем. Основными запасными белками в овсе являются глобулины

(растворимость в соленой воде составляет примерно 55 %), при этом проламины составляют незначительный процент. Авенины также служат хранилищем белка для овса, составляя от 10 до 13 % от общего содержания белка. Белок овса состоит из большего количества ограничивающих аминокислот, таких как глутамин, лизин и треонин, и меньшего количества пролина по сравнению с другими злаками. Содержание белка в овсяной крупе колеблется от 12,4 до 24,5 % [7]. Эмбриональная ось и скутеллум содержат большее количество аминокислот, чем другие части ядра.

Овес имеет самое высокое содержание жира среди всех злаков. Они богаты линолевой кислотой и низким содержанием насыщенных жиров, что может помочь снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний [8]. Мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК, С18:1) и полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК, С18:2) являются наиболее распространенными жирными кислотами в овсе, за ними следуют насыщенные жирные кислоты (С16:0). Триглицериды также являются основным компонентом липидов и фосфолипидов; гликолипиды и стеринны также присутствуют в значительных количествах. Высокое содержание липидов делает их ценным функциональным пищевым ингредиентом в широком спектре отраслей промышленности [9].

Овес содержит меньше углеводов, но больше белка и липидов, чем другие злаки. Тем не менее крахмал остается наиболее распространенным компонентом, как и в других зерновых культурах, составляя примерно 60 % зерен овса. На долю амилозы и амилопектина приходится 98–99 % углеводов составляющих гранул овсяного крахмала. Овсяный крахмал имеет различные характеристики, такие как короткая амилоза, относительно высокая кристалличность и хорошо развитая и небольшая поверхность гранул. Эти особые характеристики овсяного крахмала делают его уникальным среди других зерновых крахмалов.

По сравнению с пшеницей овес менее требователен к условиям возделывания, но ему необходима влага. Основная часть посевных площадей в России сосредоточена в районах с большим количеством осадков: в Нечерноземной зоне, районах Урала, Западной Сибири и др. В посевах преобладает яровой овес, а озимый возделывают очень мало [10].

Овес относится к крупяным культурам, но из него также могут вырабатывать муку, пользующуюся спросом в кондитерском производстве, пищевые концентраты, каши и мюсли. Из овса получают толокно и овсяный кофе [11]. Зерно овса используется как концентрированный корм для животных и как зерновое сырье — для выработки комбикормов.

В Западной Сибири и, в частности, Тюменской области овес является одной из основных возделываемых зерновых культур. Овес выращивают по всей сельскохозяйственной зоне – от подтайги до южной лесостепи. На сегодняшний день в области посевами ярового овса занято 129 тыс. га [12]. Метеорологические условия для региона характеризуются своеобразным распределением осадков и динамикой нарастания положительных температур за вегетационный период [13]. Селекционная работа в Сибири направлена на выведение сортов овса, устойчивых к полеганию, засухе, болезням, высокоурожайных, имеющих крупное зерно с повышенным содержанием белка и сбалансированным составом незаменимых аминокислот [14]. Также необходимым условием для местных сортов является их высокая экологическая пластичность. Многие авторы считают, что при создании новых сортов важен правильный подбор исходного материала.

Методология и методы исследования (Methods)

Полевое испытание коллекционного материала проводили на опытном поле Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (НИИСХ Северного Зауралья, Тюменская область, северная лесостепь) в 2019–2021 гг. Биохимические показатели определяли в аналитической лаборатории НИИСХ Северного Зауралья.

Объектами исследования являлись 167 коллекционных сортов ВИР пленчатого овса. Выращивание осуществлялось по общепринятым технологиям для региона. Изучение проводили в коллекционном питомнике на делянках с учетной площадью 10 м². Норма высева – 550 всхожих семян на 1 м². В качестве стандарта использовали сорта Отрада. На опытном участке почва серая лесная, оподзоленная, тяжелосуглинистая. Мощность пахотного горизонта – 18–30 см, содержание гумуса в почве (по Тюрину, ГОСТ 23740-79) – 1,50–4,75 %, кислотность солевой вытяжки (по Алямовскому) – 5,5–6,8 ед. рН, содержание нитратного азота (по Грандвалю – Ляжу) – 6,6–7,9 мг/кг почвы; подвижных форм (по Чирикову) фосфора и калия – 19,8–24,5 и 19,0–20,6 мг / 100 г почвы соответственно. Предшественник – яровая пшеница.

Содержание белка в зерне определяли фотокориметрическим методом, содержание жира – на установке ЭЖ-101 методом экстрагирования (по Рушковскому), содержание крахмала – поляриметрическим методом (ГОСТ 10845-98).

В работе применялись статистические методы с использованием методики полевого опыта [15]. Математическую обработку результатов исследований осуществляли с использованием современных компьютерных программ.

Метеорологические условия анализировались по наблюдениям Тюменский ЦГМС за 2019–2021 гг. Погодные условия вегетации растений существенно различались в годы изучения, особенно в период развития растений. Агроклиматические условия 2019 г. были контрастными. Теплым с достаточным количеством осадков был май (ГТК = 1,04). Июнь и первая декада июля характеризовались недобором тепла и избыточным увлажнением (ГТК = 1,74). Вторая половина июля и август были достаточно теплыми и влажными. Сумма активных температур за май-август составила 1906 °С (при норме 1844 °С), ГТК = 1,57 (при норме 1,31). Вегетационный период 2020 г. характеризовался как сухой и теплый. Сумма активных температур за период май – август составила 2133 °С, ГТК = 0,89. В целом вегетационный период 2021 г. характеризовался как засушливый и отличался острым недостатком осадков – 39,7 % к норме, повышенной суммой активных температур 2266 °С (+23 % к норме) и низким показателем ГТК – 0,42. Наиболее благоприятными условиями для формирования высокого урожая и качества зерна у опытных коллекционных сортов пленчатого овса характеризовался вегетационный период 2019 г.

Результаты (Results)

Полученные данные подтверждают, что погодные условия оказывают заметное влияние на качество урожая пленчатого овса. В годы исследования содержание белка варьировало от 8,74 (2021)

до 15,16 % (2019), жира – от 2,71 (2020) до 6,54 % (2019), крахмала – от 46,9 (2021) до 62,99 (2020) (рис. 1).

Наибольшее содержание белка в зерне было отмечено в 2019 и 2021 гг., когда в период налива и созревания зерновок отмечались повышенная температура и невысокое увлажнение. Известно, что повышенная влажность вызывает снижение содержания белка в зерне [16].

В наших опытах коэффициент корреляции урожайности с содержанием белка в годы исследования от $r = -0,14$ до $r = -0,59$. Наиболее заметна отрицательная связь ($r = -0,59$) проявилась, когда в период налива и созревания зерновок отмечалась повышенная температура и невысокое увлажнение (2019). В 2021 г., когда погодные условия характеризовались как засушливые и отличался острым недостатком осадков, что обусловило формирование не высокого урожая, была так же отмечена достоверная отрицательная связь урожая с содержанием белка ($r = -0,34$). В условиях 2020 г. связь урожайности с содержанием белка была слабой. Корреляция урожайности с содержанием жира ($r = -0,17... -0,27$) и крахмала ($r = -0,08...0,17$) по всем годам изучения была не существенной (таблица 1).

Овес обладает уникальной питательной ценностью, особенно для животных, которым требуется корм с относительно высоким содержанием белка хорошего качества, но с более низким содержанием энергии. Уровень белка в овсяной крупе выше, чем в других злаках; более того, качество овсяного белка, особенно аминокислотного баланса, превосходит качество белка других злаков. За годы исследований (2019–2021 гг.) содержание белка у коллекционных сортов ярового овса изменялась по годам. В 2019 г. в разрезе сортов этот показатель варьировал от 7,87 % (к-14264, США) до 13,58 % (к-15484, Бразилия), в 2020 г. – от 8,74 % (к-14506, Курская область) до 13,33 % (к-14971, США), в 2021 г. минимальное содержание составило 7,25 % (к-15375, Германия), максимальное – 14,05 % (к-15265, США). В результате изучения выделились коллекционные сорта ярового овса разного эколого-географического происхождения, с высоким содержанием белка по трем годам изучения, они представляют наибольший интерес для селекционной работы на повышения качества продукции. Это к-15311 (12,20 %), к-15312 (12,41 %), к-15321 (11,98 %) (Ленинградская область); к-15262 (11,99 %) (США); к-15484 (12,49 %) (Бразилия) (таблица 2).

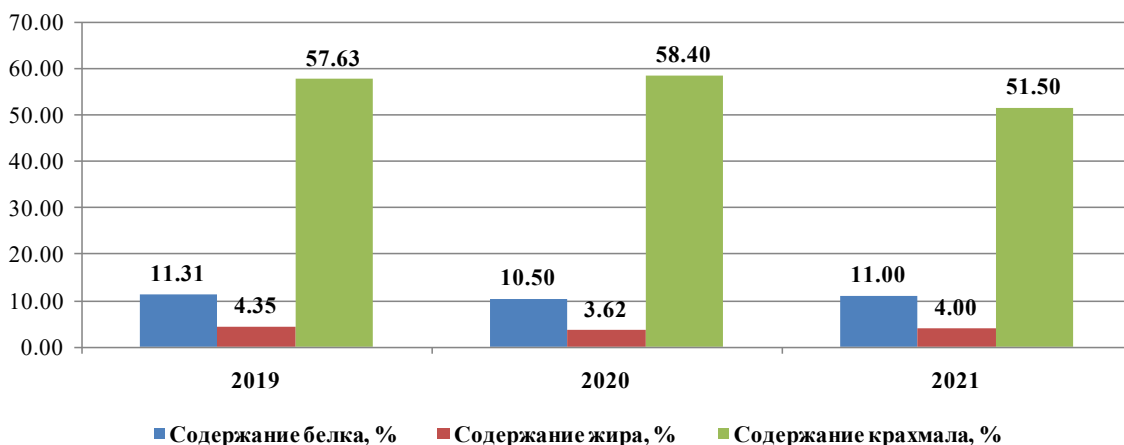


Рис. 1. Среднее значение биохимических показателей качества зерна коллекционных сортов пленчатого овса, 2019–2021 гг.

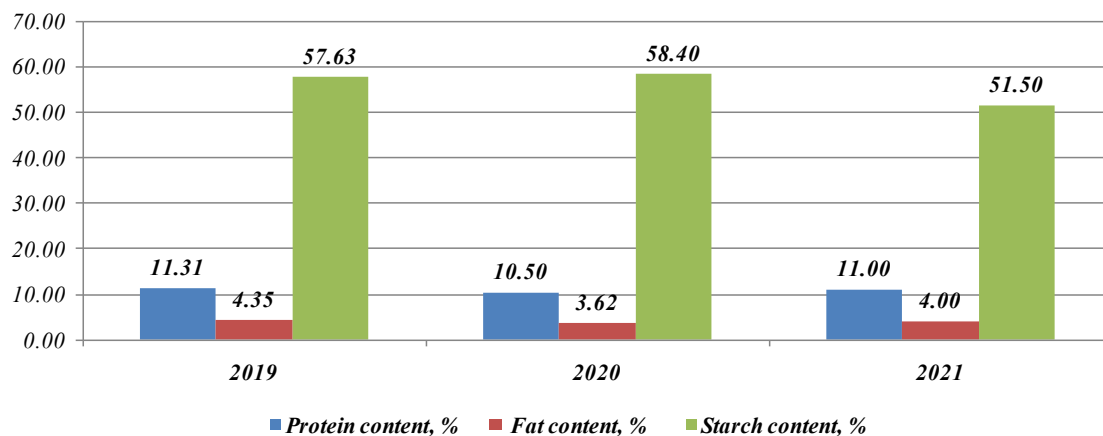


Fig. 1. Average value of biochemical indicators of grain quality of collectible varieties of film oats, 2019–2021

Таблица 1
Статистические данные и корреляционная связь урожайности с биохимическими показателями зерна, Тюмень, 2019–2021 гг.

Год	Белок, %			Жир, %			Крахмал, %		
	Среднее	Коэффициент		Среднее	Коэффициент		Среднее	Коэффициент	
		Вариации	Корреляции		Вариации	Корреляции		Вариации	Корреляции
2019	11,31	0,33	-0,59*	4,35	0,15	-0,27*	57,63	0,18	0,17
2020	10,50	0,13	-0,14	3,62	0,15	-0,24*	58,40	0,04	0,09
2021	11,00	0,07	-0,34*	4,00	0,19	-0,17	51,50	0,03	0,08

* Достоверно на уровне 5 %.

Table 1
Statistical data and correlation of yield with biochemical indicators of grain, Tyumen, 2019–2021

Year	Protein, %			Fat, %			Starch, %		
	Average	Coefficient		Average	Coefficient		Average	Coefficient	
		Of the variation	Of the correlation		Of the variation	Of the correlation		Of the variation	Of the correlation
2019	11.31	0.33	-0.59*	4.35	0.15	-0.27*	57.63	0.18	0.17
2020	10.50	0.13	-0.14	3.62	0.15	-0.24*	58.40	0.04	0.09
2021	11.00	0.07	-0.34*	4.00	0.19	-0.17	51.50	0.03	0.08

* Reliably at level 5 %.

Таблица 2
Коллекционные сорта пленчатого овса с высоким содержанием белка, Тюмень, 2019–2021 гг.

№ каталога ВИР	Сорт	Происхождение	Годы			Среднее
			2019	2020	2021	
15019	Атула	Ленинградская обл.	12,83	10,12	12,00	11,65
15318	Отас	Ленинградская обл.	11,09	10,95	12,25	11,43
15311	Косарь	Ленинградская обл.	12,53	11,08	13,00	12,20
15312	Скакор	Ленинградская обл.	12,53	10,95	13,75	12,41
15321	Скроколин	Ленинградская обл.	12,01	11,08	12,85	11,98
15331	КСИ2161/03	Ульяновская обл.	12,65	10,66	12,25	11,85
15329	КСИ639/05	Ульяновская обл.	10,78	10,48	12,50	11,25
15048	Raiaca	Финляндия	11,19	11,28	11,50	11,32
15262	PA7967-3145	США	12,36	11,12	12,50	11,99
14872	HARUAOBA	Япония	11,37	11,66	12,25	11,76
14878	HONIRU 88	Япония	11,37	10,07	11,05	10,83
14846	Tarda	Австралия	11,66	11,28	12,50	11,81
15484	Ursquana	Бразилия	13,58	11,95	11,95	12,49
HCP _{0,5}			1,22	1,10	0,99	

Table 2
Collectible varieties of filmy oats with a high protein content, Tyumen, 2019–2021

№ catalog VIR	Variety	Origin	Year			Average
			2019	2020	2021	
15019	Atula	Leningrad region	12.83	10.12	12.00	11.65
15318	Otas	Leningrad region	11.09	10.95	12.25	11.43
15311	Kosar'	Leningrad region	12.53	11.08	13.00	12.20
15312	Skakor	Leningrad region	12.53	10.95	13.75	12.41
15321	Skrokolin	Leningrad region	12.01	11.08	12.85	11.98
15331	KSI2161/03	Ulyanovsk region	12.65	10.66	12.25	11.85
15329	KSI639/05	Ulyanovsk region	10.78	10.48	12.50	11.25
15048	Raiaca	Finland	11.19	11.28	11.50	11.32
15262	PA7967-3145	USA	12.36	11.12	12.50	11.99
14872	HARUAOBA	Japan	11.37	11.66	12.25	11.76
14878	HONIRU 88	Japan	11.37	10.07	11.05	10.83
14846	Tarda	Australia	11.66	11.28	12.50	11.81
15484	Ursquana	Brazil	13.58	11.95	11.95	12.49
HCP _{0,5}			1.22	1.10	0.99	

Коллекционные сорта пленчатого овса с высоким содержанием жира, Тюмень, 2019–2021 гг.

№ каталога ВИР	Сорт	Происхождение	Годы			Среднее
			2019	2020	2021	
14787	Привет	Московская обл.	5,33	4,62	4,46	4,80
15278	23h2201	Московская обл.	5,75	3,91	4,23	4,63
15311	Косарь	Ленинградская обл.	5,63	5,52	5,61	5,59
14506	Льговский 9	Курская обл.	5,28	3,57	4,25	4,37
14863	VILLU	Эстония	5,59	3,70	4,95	4,75
15353	ODAZ	Норвегия	5,11	4,96	5,37	5,15
15249	Местный	Тунис	5,31	4,19	4,48	4,66
15307	AIAY	США	5,51	4,96	4,35	4,94
15256	PA 7836-61	США	5,82	5,25	5,06	5,38
15254	AC Mustang	Канада	6,54	3,34	5,23	5,04
14983	Гибрид	Мексика	5,42	4,75	4,31	4,83
HCP _{0,5}			1,02	0,96	0,58	

Table 3
Collectible varieties of filmy oats with a high fat content, Tyumen, 2019–2021

No. of VIR catalog	Variety	Origin	Year			Average
			2019	2020	2021	
14787	Privet	Moscow region	5.33	4.62	4.46	4.80
15278	23h2201	Moscow region	5.75	3.91	4.23	4.63
15311	Kosar'	Leningrad region	5.63	5.52	5.61	5.59
14506	L'govskiy 9	Kursk region	5.28	3.57	4.25	4.37
14863	VILLU	Estonia	5.59	3.70	4.95	4.75
15353	ODAZ	Norway	5.11	4.96	5.37	5.15
15249	Mestnyy	Tunisia	5.31	4.19	4.48	4.66
15307	AIAY	USA	5.51	4.96	4.35	4.94
15256	PA 7836-61	USA	5.82	5.25	5.06	5.38
15254	AC Mustang	Canada	6.54	3.34	5.23	5.04
14983	Gibrid	Mexico	5.42	4.75	4.31	4.83
HCP _{0,5}			1.02	0.96	0.58	

Одним из пищевых достоинств зерна овса является увеличенное содержание жиров, которое выше 2–3 раза, чем у других зерновых культур. Высокой энергетической ценностью обладает жир овса, для него характерно сбалансированное содержание жирных кислот. Проведенные исследования показали, что содержание жира варьировала в зависимости от года. В 2019 и 2021 гг. содержание жира в зерна пленчатого овса составило 4,35 и 4,00 % соответственно, в 2020 году – 3,62%. В таблице 3 представлены сорта с высоким содержанием жира, которые вызывают интерес для дальнейшей селекционной работы: к-15311 (Ленинградская область), к-15353 (Норвегия), к-15256 (США), к-15254 (Канада).

Углеводы овса представлены в основном крахмалом, содержание которого в зерне составляет около 60 %. Крахмал овса существенно отличается от крахмала других злаковых культур, поскольку имеет более мелкие зерна, которые быстро расщепляются и имеют высокую усвояемость организмом. В 2019–2020 гг. сложились благоприятные условия для формирования крахмала в зерне овса, его содержание в среднем по опыту составило 57,63 %

в 2019 г. и 58,4 % в 2020 г. Отсутствие осадков в 2021 г. негативно повлияло на содержание крахмала (51,4 %). По результатам изучения ярового овса выделились сорта с высоким содержанием крахмала (таблица 4), они могут быть использованы как источники в селекции на качество: к-15135 (Словения) – 59,16 %, к-15318 (Ленинградская область) – 58,95 %, к-15262 (США) – 58,84 %.

Овес является одной из наиболее перспективных сельскохозяйственных культур, так как может обладать рядом хозяйственно ценных признаков, которые отвечают требованиям, предъявляемым к ФФП, что позволяет использовать именно эту культуру в кормах животных и в лечебных или профилактических целях. Так сорта пленчатого овса с комплексом полезных свойств выделились в изучаемой коллекции, они представляют наибольший интерес для селекции. Эти сорта представлены местной и зарубежной селекцией: к-15278, Московская обл.; к-15311, к-15318, Ленинградская область; к-15330, к-15331, к-15329, Ульяновская обл.; к-14863, Эстония; к-15378, Германия; к-15307, США; к-14953, Австралия и т. д. (таблица 5).

Таблица 4

Коллекционные сорта пленчатого овса с высоким содержанием крахмала, Тюмень, 2019–2021 гг.

Агротехнологии

№ каталога ВИР	Сорт	Происхождение	Годы			Среднее
			2019	2020	2021	
15278	23h2201	Московская обл.	61,29	60,26	52,10	57,88
15318	Отас	Ленинградская обл.	61,20	59,76	55,90	58,95
15311	Косарь	Ленинградская обл.	60,94	58,19	55,30	58,14
15330	КСИ590/05	Ульяновская обл.	60,32	60,34	55,10	58,59
15329	КСИ639/05	Ульяновская обл.	60,10	57,80	54,80	57,57
14415	Универсал 1	Свердловская обл.	60,51	58,69	57,06	58,75
15234	Jitovsij nagie	Литва	61,29	60,27	54,80	58,79
15135	Zvoleu	Словения	60,70	59,98	56,80	59,16
15378	TYPHOON	Германия	62,16	58,43	54,60	58,40
15262	PA7967-3145	США	61,46	59,25	55,80	58,84
12823	C.I.4451	США	61,95	56,87	53,90	57,57
15272	Trucker	США	60,79	59,87	55,30	58,65
14878	HONIRU 88	Япония	60,18	57,88	56,13	58,06
14953	EURABBIL	Австралия	60,30	59,47	55,97	58,58
HCP _{0,5}			5,66	4,21	7,22	

Table 4

Collectible varieties of filmy oats with a high starch content, Tyumen, 2019–2021

No. of VIR catalog	Variety	Origin	Year			Average
			2019	2020	2021	
15278	23h2201	Moscow region	61.29	60.26	52.10	57.88
15318	Otas	Leningrad region	61.20	59.76	55.90	58.95
15311	Kosar'	Leningrad region	60.94	58.19	55.30	58.14
15330	KSI590/05	Ulyanovsk region	60.32	60.34	55.10	58.59
15329	KSI639/05	Ulyanovsk region	60.10	57.80	54.80	57.57
14415	Universal 1	Sverdlovsk region	60.51	58.69	57.06	58.75
15234	Jitovsij nagie	Lithuania	61.29	60.27	54.80	58.79
15135	Zvoleu	Slovenia	60.70	59.98	56.80	59.16
15378	TYPHOON	Germany	62.16	58.43	54.60	58.40
15262	PA7967-3145	USA	61.46	59.25	55.80	58.84
12823	C.I.4451	USA	61.95	56.87	53.90	57.57
15272	Trucker	USA	60.79	59.87	55.30	58.65
14878	HONIRU 88	Japan	60.18	57.88	56.13	58.06
14953	EURABBIL	Australia	60.30	59.47	55.97	58.58
HCP _{0,5}			5.66	4.21	7.22	

Таблица 5

Коллекционные сорта пленчатого овса с комплексом биохимических показателей, Тюмень, 2019–2021 гг.

№ каталога ВИР	Сорт	Происхождение	Содержание, %			Урожайность, ц/ га
			Белок	Жир	Крахмал	
15278	23h2201	Московская обл.	10,13	4,63	56,61	393,33
15311	Косарь	Ленинградская обл.	11,94	5,44	52,95	336,67
15318	Отас	Ленинградская обл.	11,76	4,36	57,84	365,67
15330	КСИ590/05	Ульяновская обл.	10,91	5,29	56,04	436,67
15331	КСИ2161/03	Ульяновская обл.	12,16	4,34	58,48	391,67
15329	КСИ639/05	Ульяновская обл.	11,74	5,20	53,58	448,33
14415	Универсал 1	Свердловская обл.	11,62	3,31	57,36	440,00
14506	Льговский 9	Курская обл.	10,41	3,23	55,40	432,67
14863	VILLU	Эстония	11,37	4,21	56,84	460,00
15378	TYPHOON	Германия	11,99	3,23	57,08	417,67
15307	AIAY	США	12,49	4,93	56,31	401,67
15262	PA7967-3145	США	12,66	4,40	57,26	377,33
12823	C.I.4451	США	11,15	4,47	56,64	296,33
15272	Trucker	США	11,97	5,46	56,43	280,00
14878	HONIRU 88	Япония	11,88	3,52	57,60	399,67
14872	HARUAOVA	Япония	11,76	4,42	57,32	388,33
14953	EURABBIL	Австралия	11,67	4,32	56,97	435,33

Collectible varieties of filmy oats with a complex of biochemical parameters, Tyumen, 2019–2021

No. of VIR catalog	Variety	Origin	Content, %			Yield, c/ha
			Protein	Fet	Starch	
15278	23h2201	Moscow region	10.13	4.63	56.61	393.33
15311	Kosar'	Leningrad region	11.94	5.44	52.95	336.67
15318	Otas	Leningrad region	11.76	4.36	57.84	365.67
15330	KSI590/05	Ulyanovsk region	10.91	5.29	56.04	436.67
15331	KSI2161/03	Ulyanovsk region	12.16	4.34	58.48	391.67
15329	KSI639/05	Ulyanovsk region	11.74	5.20	53.58	448.33
14415	Universa1 1	Sverdlovsk region	11.62	3.31	57.36	440.00
14506	L'govskiy 9	Kursk region	10.41	3.23	55.40	432.67
14863	VILLU	Estonia	11.37	4.21	56.84	460.00
15378	TYPHOON	Germany	11.99	3.23	57.08	417.67
15307	AIAY	USA	12.49	4.93	56.31	401.67
15262	PA7967-3145	USA	12.66	4.40	57.26	377.33
12823	C.I.4451	USA	11.15	4.47	56.64	296.33
15272	Trucker	USA	11.97	5.46	56.43	280.00
14878	HONIRU 88	Japan	11.88	3.52	57.60	399.67
14872	HARUAOBA	Japan	11.76	4.42	57.32	388.33
14953	EURABBIL	Australia	11.67	4.32	56.97	435.33

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Овес является перспективной культурой для использования в качестве пищевой добавки, в косметической продукции, фармацевтике. Роль овса постоянно растет. Расширяется ассортимент здоровой пищи для населения. Спрос на продукты из овса стимулирует селекционеров на выведение новых сортов с более высоким содержанием биологически активных компонентов в зерне. Для успешной селекционной работы необходимы изучение и подбор исходного материала лучшего качества.

По результатам трехлетнего изучения коллекции пленчатого овса нами были выделены сорта с высокими показателями качества, они представляют наибольший интерес:

– высокобелковые сорта пленчатого овса: к-15311 (12,20 %), к-15312 (12,41 %), к-15321 (11,98 %) (Ленинградская область); к-15262 (11,99 %) (США); к-15484 (12,49 %) (Бразилия);

– сорта с высоким содержанием жира: к-15311 (Ленинградская область); к-15353 (Норвегия); к-15256 (США); к-15254 (Канада);

– сорта с высоким содержанием крахмала: к-15135 (Словения) – 59,16 %; к-15318 (Ленинградская область) – 58,95 %; к-15262 (США) – 58,84 %;

– сорта с комплексом хозяйственно ценных признаков: к-15278 (Московская обл.); к-15311, к-15318 (Ленинградская область); к-15330, к-15331, к-15329 (Ульяновская обл.); к-14863 (Эстония); к-15378 (Германия); к-15307 (США); к-14953 (Австралия).

Библиографический список

1. Loskutov I. G., Khlestkina E. K. Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain // Plants. 2021. No. 10. Article number 86. DOI: 10.3390/plants10010086.
2. Лоскутов И. Г., Блинова Е. В., Гнутиков А. А. Коллекция генетических ресурсов овса ВИР как источник информации по истории возделывания, систематике рода и направлениям селекции культуры (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. № 184 (1). С. 225–238. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238.
3. Erbaş Köse Ö. D., Mut Z., Akay H. Assessment of grain yield and quality traits of diverse oat (*Avena sativa* L.) Genotypes // Annali Di Botanica. 2020. No. 11. Pp. 55–66. DOI: 10.13133/2239-3129/16777.
4. Любимова А. В., Фомина М. Н., Еремин Д. И., Мамаева В. С., Мишечкина В. С., Брагин Н. А., Белоусов С. А., Брагина М. В. Аллельное состояние проламин-кодирующих локусов нового сорта овса посевого Тоболяк // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022 № 183 (3). С. 123–131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131.
5. Любимова А. В. Изучение характера наследования компонентов авенина у гибридов F2 от скрещивания сортов овса посевого сибирской селекции // Аграрный вестник Урала. 2022. № 02 (217). С. 48–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-48-59.
6. Гапонова Л. В., Полежаева Т. А., Матвеева Г. А., Блинова Е. В., Лоскутов И. Г. Селекция сортов овса и ячменя для производства белково-липидно-углеводных композиций со сбалансированным составом питательных веществ // Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции. 2021. № 4. С. 118–131. DOI: 10.36107/spfp.2021.252.

7. Фомина М. Н., Брагин Н. А., Белоусов С. А. Влияние агротехнических приемов на формирование качества зерна у сортов овса в условиях Северного Зауралья // *Достижения науки и техники АПК*. Т. 35. № 11. 2021. С. 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_11_31.
8. Joyce S. A., Kamil A., Fleige L., Gahan C. G. M. The Cholesterol-Lowering Effect of Oats and Oat Beta Glucan: Modes of Action and Potential Role of Bile Acids and the Microbiome // *Frontiers in Nutrition*. 2019. Vol. 6. DOI: 10.3389/fnut.2019.00171.
9. Polonskiy V., Loskutov I., Sumina A. Biological role and health benefit of antioxidant compounds in cereals // *Biological Communication*. 2020. Vol. 65. No.1. Pp. 53–67.
10. Фомина М. Н., Брагин Н. А. Влияние элементов технологии на реализацию биологического ресурса у сортов овса нового поколения в зоне северной лесостепи Тюменской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 3. С. 22–25.
11. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Yaroslavtsev A. A. Ecological plasticity and stability of collection samples of naked oats in the conditions of the Northern TRANS-Urals // *Bioscience Research*. 2020. Vol. 17. No. 2. Pp. 1183–1185.
12. Иванова Ю. С., Фомина М. Н., Лоскутов И. Г. Биохимические показатели качества зерна у коллекционных образцов овса голозерного в условиях северной лесостепи // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. № 6. С. 38–41.
13. Lyubimova A. V., Tobolova G. V., Eremin D. I., Loskutov I. G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. Vol. 24. No. 2. Pp. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.
14. Любимова А. В., Еремин Д. И., Мамаева В. С. Каталог биохимических паспортов сортов овса посевного сибирской селекции // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 5 (182). С. 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83.
15. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: ГУП РПО СО РАХН, 2004. 162 с.
16. Пахотина И. В., Игнатъева Е. Ю., Россеева Л. П., Белан И. А., Омелянюк Л. В. Особенности формирования содержания белка в зерне пшеницы мягкой яровой в условиях западной Сибири. *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 5. С. 37–45.

Об авторах:

Юлия Семеновна Иванова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции семеноводства зернофуражных культур, ORCID 0000-0002-3376-490X, AuthorID 1054282; +7 904 493-31-24, averyasova-ulya@mail.ru

Мария Николаевна Фомина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции семеноводства зернофуражных культур, ORCID 0000-0003-2923-9448, AuthorID 742822; +7 922 488-18-54, maria_f72@mail.ru

Ярославцев Алексей Андреевич, и. о. директора, ORCID 0000-0002-2020-4647, AuthorID 797734; +7 922 048-27-77, yaroslavtsev.aa72

References

1. Loskutov I. G., Khlestkina E. K. Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain // *Plants*. 2021. No. 10. Article number 86. DOI: 10.3390/plants10010086.
2. Loskutov I. G., Blinova E. V., Gnutikov A. A. Kolleksiya geneticheskikh resursov ovsa VIR kak istochnik informatsii po istorii vozdeleyvaniya, sistematike roda i napravleniyam selektsii kul'tury (obzor) [The collection of genetic resources of VIR oats as a source of information on the history of cultivation, the taxonomy of the genus and the directions of culture selection (review)] // *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2023. No. 184 (1). Pp. 225–238. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238. (In Russian.)
3. Erbaş Köse Ö. D., Mut Z., Akay H. Assessment of grain yield and quality traits of diverse oat (*Avena sativa* L.) Genotypes // *Annali Di Botanica*. 2020. No. 11. Pp. 55–66. DOI: 10.13133/2239-3129/16777
4. Lyubimova A. V., Fomina M. N., Eremin D. I., Mamaeva V. S., Mishechkina V. S., Bragin N. A., Belousov S. A., Bragina M. V. Allel'noye sostoyaniye prolamin-kodiruyushchikh lokusov novogo sorta ovsa posevnogo Tobolyak [The allelic state of the prolamine-coding loci of the new variety of oats Tobolyak] // *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022. No. 183(3). Pp. 123–131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131. (In Russian.)
5. Lyubimova A. V. Izucheniye kharaktera nasledovaniya komponentov avenina u gibridov F2 ot skreshchivaniya sortov ovsa posevnogo sibirskoy selektsii [To study the nature of the inheritance of avenin components in F2 hybrids from crossing varieties of Siberian oats] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022. No. 02 (217). Pp. 48–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-48-59. (In Russian.)

6. Gaponova L. V., Polezhaeva T. A., Matveeva G. A., Blinova E. V., Loskutov I. G. Seleksiya sortov ovsa i yachmenya dlya proizvodstva belkovo-lipidno-uglevodnykh kompozitsiy so sbalansirovannym sostavom pitatel'nykh veshchestv [Selection of oat and barley varieties for the production of protein-lipid-carbohydrate compositions with a balanced composition of nutrients] // Storage and Processing of Farm Products. 2021. No. 4. Pp. 118–131. DOI: 10.36107/spfp.2021.252. (In Russian.)
7. Fomina M. N., Bragin N. A., Belousov S. A. Vliyaniye agrotekhnicheskikh priyemov na formirovaniye kachestva zerna u sortov ovsa v usloviyakh Severnogo Zaural'ya [The influence of agrotechnical techniques on the formation of grain quality in oat varieties in the conditions of the Northern Trans-Urals] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2021. Vol. 35. No. 11. Pp. 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_11_31. (In Russian.)
8. Joyce S. A., Kamil A., Fleige L., Gahan C. G. M. The Cholesterol-Lowering Effect of Oats and Oat Beta Glucan: Modes of Action and Potential Role of Bile Acids and the Microbiome // Frontiers in Nutrition. 2019. Vol. 6. DOI: 10.3389/fnut.2019.00171.
9. Polonskiy V., Loskutov I., Sumina A. Biological role and health benefit of antioxidant compounds in cereals // Biological Communication. 2020. Vol. 65. No.1. Pp. 53–67.
10. Fomina M. N., Bragin N. A. Vliyaniye elementov tekhnologii na realizatsiyu biologicheskogo resursa u sortov ovsa novogo pokoleniya v zone severnoy lesostepi Tyumenskoy oblasti [The influence of technology elements on the realization of a biological resource in new generation oat varieties in the northern forest-steppe zone of the Tyumen region] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2020. Vol. 34. No. 3. Pp. 22–25. (In Russian.)
11. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Yaroslavtsev A. A. Ecological plasticity and stability of collection samples of naked oats in the conditions of the Northern TRANS-Urals // Bioscience Research. 2020. Vol. 17. No. 2. Pp. 1183–1185.
12. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Loskutov I. G. Biokhimicheskie pokazateli kachestva zerna u kolleksiionnykh obraztsov ovsa golozernogo v usloviyakh severnoy lesostepi [Biochemical indicators of grain quality in collection samples of naked oats in the conditions of the northern forest-steppe]. Achievements of Science and Technology of AIC. 2018. No. 6. Pp. 38–41. (In Russian.)
13. Lyubimova A. V., Tobolova G. V., Eremin D. I., Loskutov I. G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24. No. 2. Pp. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.
14. Lyubimova A. V. Eremin D. I., Mamaeva V. S. Katalog biokhimicheskikh pasportov sortov ovsa posevnogo sibirskoy seleksii [Catalog of biochemical passports of Siberian oat varieties] // Bulletin of KrasGAU. 2022. No. 5 (182). Pp. 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83. (In Russian.)
15. Sorokin O. D. Prikladnaya statistika na komp'yutere [Applied statistics on a computer]. Novosibirsk: GUP RPO SO RAKhN, 2004. 162 p. (In Russian.)
16. Pakhotina I. V., Ignat'eva E. Yu., Rosseeva L. P., Belan I. A., Omel'yanyuk L. V., Osobennosti formirovaniya sodержaniya belka v zerne pshenitsy myagkoy yarovoy v usloviyakh zapadnoy Sibiri [Features of the formation of protein content in the grain of soft spring wheat in the conditions of Western Siberia] // Bulletin of KrasGAU. 2021. No. 5. Pp. 37–45. (In Russian.)

Authors' information:

Yuliya S. Ivanova, candidate of agricultural sciences, researcher at the laboratory of seed breeding of grain crops, ORCID 0000-0002-3376-490X, AuthorID 1054282; +7 904 493-31-24, averyasova-ulyi@mail.ru
Mariya N. Fomina, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of seed breeding of grain crops, ORCID 0000-0003-2923-9448, AuthorID 742822; +7 922 488-18-54, maria_f72@mail.ru
Aleksy A. Yaroslavtsev, acting director, ORCID 0000-0002-2020-4647, AuthorID 797734; +7 922 048-27-77, yaroslavtseva.aa72

Действие биопрепаратов на ростовые параметры *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf

Л. В. Сухарева

Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина, Молочное, Россия

E-mail: lyubov.suxareva@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – изучить эффективность применения микробиологических препаратов на ростовые характеристики сорго суданского в условиях Вологодской области на фоне с внесением удобрений и без них. **Методология и методы.** Научно-исследовательская работа впервые проводилась в Вологодской области на опытном поле ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук» в 2022 г. В работе использовались биопрепараты на основе живых клеток микроорганизмов, основа препарата «Натурост-Актив» состоит из культуры клеток *Lactobacillus buchneri*, «Натурост-М» – *Bacillus megaterium*. **Объект исследования** – сорго суданское сорта Землячка. Мелкоделяночный полевой эксперимент предусматривал следующие варианты: контроль (1 вар.), контроль + удобрение (2 вар.), биопрепарат (3 вар.), биопрепарат 1 + удобрение (4 вар.), биопрепарат 2 + удобрение (5 вар.). Повторность опыта трехкратная, площадь учетной делянки 5 м². Показатели представлены 4 учета за сезон. **Результаты.** Общая кустистость в варианте с применением препарата «Натурост-Актив» увеличивается на 35,3 %, прибавка в 29,4 % к контролю отмечается в варианте «Натурост-Актив» + удобрение. Продуктивная кустистость фиксировалась в каждом варианте, максимальная прибавка к контролю составляла 45,5 % в варианте «контроль + удобрение». Наибольшая прибавка к контролю в 42,5 % по средней площади листовой поверхности была определена в варианте с использованием препарата «Натурост-М» и внесением удобрений. **Научная новизна.** Впервые проведено исследование на сорго суданском сорта Землячка в условиях Вологодской области с использованием биопрепаратов «Натурост-Актив» на основе культуры клеток *Lactobacillus buchneri* и «Натурост-М» – *Bacillus megaterium* на фоне с внесением удобрений и без них, которые потом могут быть рекомендованы для увеличения адаптации растений и повышения продуктивности. В свою очередь, сорго суданское может быть рекомендовано как основной или вспомогательный элемент севооборота.

Ключевые слова: суданская трава, морфометрические показатели, микробиологические препараты, интродукция, агрономия, кормопроизводство, сорго суданское, микробно-растительное взаимодействие, стимулятор роста.

Для цитирования: Сухарева Л. В. Действие биопрепаратов на ростовые параметры *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-12-21.

Дата поступления статьи: 29.03.2023, **дата рецензирования:** 20.05.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

Effect of biopreparations on growth parameters of *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf

L. V. Sukhareva

Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia

Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin, Molochное, Russia

E-mail: lyubov.suxareva@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study was to study the effectiveness of microbiological preparations on the growth characteristics of Sudan sorghum under the conditions of the Vologda region on the background with and without

fertilizers. **Methodology and methods.** Research work was first carried out in the Vologda region in the experimental field of FSBSI “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences” in 2022. Biopreparations based on living cells of microorganisms were used, the basis of the drug “Natuorst-Aktiv” consists of cell culture *Lactobacillus buchneri*, “Natuorst-M” – *Bacillus megaterium*. **The object** of the study was Sudanese sorghum variety Zemlyachka. Small-scale field experiment included the following variants: control (1 var.), control + fertilizer (2 var.), biopreparation (3 var.), biopreparation 1 + fertilizer (4 var.), biopreparation 2 + fertilizer (5 var.). Repetition of the experiment – 3 times, the area of recording plot 5 m². Indicators are presented by 4 counts per season. **Results.** The total bushiness in the variant with the “Natuorst-Aktiv” increases by 35.3 %, an increase of 29.4 % to the control is noted in the variant “Natuorst-Aktiv” + fertilizer. Productive bushiness was fixed in each variant, the maximum increase to the control was 45.5 % in the variant control + fertilizer. The greatest gain to the control of 42.5 % in the average area of the leaf surface was determined in the variant with the use of the drug “Natuorst-M” and fertilization. **Scientific novelty.** For the first time a study on Sudan sorghum variety Zemlyachka in the conditions of the Vologda region using the biopreparation “Natuorst-Aktiv” based on the cell culture *Lactobacillus buchneri* and “Natuorst-M” – *Bacillus megaterium* on the background with and without fertilizers, which then can be recommended to increase the adaptation of plants and increase productivity, in turn Sudan sorghum can be recommended as a basic or auxiliary element of crop rotation.

Keywords: sudan grass, morphometric indicators, microbiological preparations, introduction, agronomy, forage production, Sudan sorghum, microbial-growth interaction, growth stimulant.

For citation: Sukhareva L. V. Deystvie biopreparatov na rostovye parametry Sorghum sudanense (Riper) Stapf [Effect of biopreparations on growth parameters of Sorghum sudanense (Piper) Stapf] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-12-21. (In Russian.)

Date of paper submission: 29.03.2023, **date of review:** 20.05.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В Вологодской области приоритетным направлением сельского хозяйства является молочное животноводство. Один из способов увеличения количества продуктов молочного животноводства – качественное и количественное улучшение кормовой базы [1, с. 98]. Повышение классности кормов возможно за счет интродукции высокопродуктивных кормовых культур [2, с. 98]. Одной из таких культур является суданская трава (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf. [3, с. 3].

Культура суданской травы во многом универсальна. Она имеет высокую урожайность зеленой массы и ее качество, обладает высокой засухоустойчивостью, устойчива к вытаптыванию скотом. Все эти качества делают культуру адаптируемой под условия произрастания. Из суданской травы заготавливают силос, сенаж, сено, зеленую массу [3, с. 3]. Зеленая масса сорго суданского содержит 19 кормовых единиц и 2,3 кг переваримого протеина, а сено – 52 кормовые единицы и 6,5 кг переваримого протеина. Например, тимофеевка луговая, типичная кормовая культура для Вологодской области, содержит в сене всего 48 кормовых единиц.

Другая сторона улучшения кормовой базы – использование биопрепаратов, которые являются альтернативой использования химических средств для увеличения продуктивности культур сельскохозяйственных растений. В этом отношении перспективным является использование микробных препаратов или удобрений. Микробно-растительные взаимодействия – один из возможных путей интен-

сификации ростовых процессов растений, повышения их продуктивности и качества урожая [4, с. 1].

Взаимодействие растительных и микробных организмов способно улучшать азотное и оптимизировать фосфорное питание растений, повышать коэффициенты использования макро- и микроэлементов из удобрений и почвы, стимулировать рост и развитие растений, подавлять фитопатогенные организмы, а также увеличивать устойчивость растений к стрессовым условиям и пр. [5, с. 20; 6, с. 29].

Например, в исследованиях О. В. Сырмолот с соавторами доказано, что при совместном использовании препаратов «Гамаир» (*Bacillus subtilis* М-22 ВИЗР) и «Мивал-Агро» (комплекс кремний-органического соединения из группы силатранов и аналога фитогормона из группы ауксинов) эффективность против септориоза достигает 29,7 %, а при использовании препаратов «Бактофит» (*Bacillus subtilis* ИПМ-215) и «Циркон» (природная смесь гидроксикоричных кислот и их производных) эффективность против пероноспороза – 26,1 %. При этом все препараты оказали положительное действие на рост и развитие растений сои, увеличивая массу 1000 семян на 13,5–22,0 % [8].

Однако несмотря на высокую степень изученности некоторых биопрепаратов, потребность в создании новых велика. Подобный тезис отмечают многие исследователи в своих работах [9–12]. Е. В. Бирюков, помимо прочего отмечает, что местная микрофлора почв лучше адаптирована к экологическим условиям (влажность, температура, конкуренция), чем организмы, вносимые извне [14].

Неслучайно много внимания уделяется изучению штаммов, которые обладают существенным биотехнологическим потенциалом.

Многие авторы к одним из наиболее перспективных для создания микробиологических препаратов относят представителей рода *Bacillus*. Они могут синтезировать липопротеиды, этилен, полиамины и вещества гормонального происхождения. Например, в своем научном обзоре R. Radhakrishnan с соавторами отмечают, что представители рода *Bacillus* способны усваивать атмосферный азот, преобразуют недоступные формы питательных элементов, главным образом азота и фосфора, в доступные для растений, с помощью производства сидерофоров помогают солиubilизировать железо из минералов и органических соединений, восстанавливая Fe^{3+} в доступную для растений форму Fe^{2+} , а также синтезируют фитогормональные соединения – ауксины, цитокинины, гиббереллины и пр. При использовании биопрепарата «М-5», который содержит штаммы *Bacillus subtilis*, *B. laterosporus*, *B. amyloliquefaciens* и *B. lentus*, наблюдалось оздоровление почвы и повышение доступности питательных элементов (увеличилось содержание подвижного фосфора, обменного калия, кальция и магния, нитратного азота и органического углерода) для растений [14–16]. *B. megaterium* также способен выступать в роли потенциально перспективного вида. Вероятно, его действие на растительные объекты связано с синтезом цитокининов, что в первую очередь приводит к более активному развитию корневой системы растений, особенно боковых корней. Кроме этого, имеются данные, что *B. megaterium* ХТВГ34 стимулирует рост растений за счет синтеза 2-пентилфурана [17–19].

Несмотря на сравнительно малый интерес исследователей к представителям рода *Lactobacillus* в отношении их возможности повышать продуктивные качества культур, эти микроорганизмы довольно конкурентоспособны, что позволяет им успешно существовать в почве и эффективно взаимодействовать в системе с растениями. Установлено, что антимикробная и стимулирующая рост активность молочнокислых бактерий связана с продуцированием ими различных метаболитов, в частности, валериановой и масляной кислот, также эти бактерии способны к синтезу фитогормонов группы ауксина.

Таким образом, в настоящий момент существует немало микробиологических препаратов в России и особенно в мире. Однако запросы растениеводства имеющиеся препараты полностью не удовлетворяют. Основные проблемы – отсутствие необходимой правильной пропаганды использования биопрепаратов, а также слабо развитые механизмы перехода научных разработок в реальный сектор производства. Несмотря на имеющееся разнообразие штаммов и разработок, существует необходимость фор-

мирования конкретных научно обоснованных пар «сорт – штамм», которые будут отвечать конкретным экологическим требованиям агроценозов и запросам производства. К наиболее перспективным родам в первую очередь можно отнести *Bacillus*, представители которых, как правило, способны выполнять сразу множество полезных функций: синтез биологически активных веществ, защита от патогенов, мобилизация многих элементов питания и пр.

Цель исследования – изучить эффективность применения микробиологических препаратов на ростовые характеристики сорго суданского в условиях Вологодской области на фоне с внесением удобрений и без них.

Задачи: оценить влияние исследуемых бактерий на морфометрические показатели сорго суданского, провести анализ фотосинтетических пигментов, оценить продуктивный показатель, определить предполагаемую значимость сорго суданского для кормовых целей в заданных условиях.

Методология и методы исследования (Methods)

Проведение эксперимента по изучению влияния биопрепаратов осуществлялось на опытном поле ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук» (ВолНЦ РАН) в 2022 г.

В работе использовались биопрепараты, созданные компанией ООО «Биотроф» (Санкт-Петербург) на основе живых клеток микроорганизмов. В основе препарата «Натурост-Актив» лежит культура клеток *Lactobacillus buchneri*, а препарата «Натурост-М» – *Bacillus megaterium*. В качестве объекта опыта было выбрано сорго суданское (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) сорта Землячка (среднеспелая линия, среднее время выметывания).

Полевой эксперимент предусматривал следующие варианты:

- 1) обработка водой (контроль);
- 2) обработка водой (контроль) + удобрение;
- 3) препарат «Натурост-Актив»;
- 4) препарат «Натурост-актив» + удобрение;
- 5) Препарат «Натурост-М»;
- 6) препарат «Натурост-М» + удобрение.

В качестве удобрения выбрана азофоска в дозировке 16 г/м². Повторность опыта трехкратная, площадь учетной делянки составляла 5 м². Посев происходил в соответствии с рекомендованными нормами высева и составлял 50 шт. на 1 п. м. С учетом 80-процентной полевой всхожести площадь питания растений составила 1,12 м². Семенной материал в вариантах с препаратами перед посевом инокулировали в рабочих растворах препаратов в концентрации 1 мл препарата на 1 л воды, семена контрольной группы замачивались в воде. В фазу кущения проводили однократное опрыскивание растений рабочими растворами той же концентрации согласно рекомендациям производителя.

Закладка опыта была проведена 30 мая. Образцы отбирались несколько раз за сезон, в фазы 3–5 листьев через 29 дней после посева, кущение (51 день), трубоквания (71 день), выметывания (90 дней). Средняя продолжительность вегетационного периода у сорго суданского в среднем от 100 до 130 дней, в 2022 году в условиях опыта на Вологодской области вегетационный период сорго суданского составил всего 91 день. Погодные условия с 30 мая по 28 августа 2022 года могли неоднозначно повлиять на рост и развития сорго суданского. После посева температура 2 раза падала ниже 10 °С, что могло привести к медленному прорастанию и длительному межфазному периоду «посев – всхожесть». Среднесуточная температура в период вегетации была +19,2 °С, что несколько ниже требуемых для культуры. Влажность в среднем за все время была 71 %. Количество дней с осадками – 17 из 30, их сумма составила 48 мм.

Почва на опытном участке осушенная дерново-подзолистая, среднесуглинистая. Результаты химического анализа почвы (таблица 1) показывают относительно низкое содержание биогенных элементов.

Статистическая обработка данных осуществлялась по стандартным методикам с использованием пакета анализа данных программы MS Excel'2010. В таблицах представлены средние значения показателей и величины их средних арифметических ошибок.

Результаты (Results)

Показатель общей и продуктивной кустистости сорго суданского измерялся в 4 фазы развития растений – фазу трех листьев, кущения, трубоквания, выметывания. Увеличение общей кустистости наблюдается с фазы трубоквания во всех вариантах, за исключением варианта «контроль + удобрение»,

что оставляет убыль на 23,7 % от контроля. Относительное увеличение кустистости на 7,7–15,4 % отмечается в вариантах с использованием препарата «Натурост-Актив» и «Натурост-Актив» + удобрение. Существенную прибавку к контролю в 46,2 % показал вариант с применением препарата «Натурост-М» и внесением удобрений. В фазу выметывания ситуация несколько меняется. Наибольшую прибавку к контролю (35,3 %) дает вариант с использованием препарата «Натурост-Актив» и составляет. Стоит выделить и вариант «Натурост-Актив» с внесением удобрений, который превышает контроль на 29,4 %. Контрольный вариант с внесением удобрений в эту фазу роста растений также уступает контролю, разница составляет 11,8 %. В таблице 2 показана средняя кустистость растений суданской травы за сезон.

Образование продуктивных органов было отмечено в каждом варианте. В контроле количество продуктивных органов составляло $1,1 \pm 0,3$ шт. Прибавка к контролю в 45,5 % фиксировалась только в варианте контроля с внесением удобрений. На уровне контроля продуктивность держалась в варианте с использованием препарата «Натурост-Актив» и внесением удобрений. В остальных вариантах фиксировались единичные растения. Это можно объяснить тем, что набранной за летний период суммы активных температур было недостаточно для образования продуктивных органов. Также уборка растений прошла несколько раньше во избежание подмерзания с приближающимися заморозками.

Так же, как и у параметра общей кустистости, отчетливо видна разница по количеству листьев. В фазу трех листьев идет увеличение количества листьев относительно контроля на 8,3–22,2 %. Максимальная положительная разница отмечается в ва-

Таблица 1
Химический состав почвы опытных делянок

Показатель	Значение за 2022 г.
Обменный аммоний, мг/кг	$1,6 \pm 0,2$
Азот нитратный, мг/кг	$11,5 \pm 2,3$
Подвижный калий, мг/кг	$143,5 \pm 21,5$
Подвижный фосфор, мг/кг	$179,0 \pm 35,8$
pH солевой вытяжки, ед. pH	$5,2 \pm 0,1$
Составлено по: результатам химического анализа ФГБУ ГЦАС «Вологодский»	

Table 1
Soil chemistry of experimental plots

Indicator	2022
Exchangeable ammonium, mg/kg	1.6 ± 0.2
Nitrate nitrogen, mg/kg	11.5 ± 2.3
Traceable potassium, mg/kg	143.5 ± 21.5
Traceable phosphorus, mg/kg	179.0 ± 35.8
pH of the salt extract, pH units	5.2 ± 0.1
Compiled by: the results of chemical analysis of FGBU State Center of Agrochemical Service "Vologodskiy"	

рианте с использованием препарата «Натурост-Актив» и аналогичным вариантом с внесением удобрений. В фазу начала кушения прибавка к контролю составляет 5,5–12,8 %. В варианте с применением препарата «Натурост-М» количество листьев аналогично контрольному варианту, но в варианте с использованием этого препарата и внесением удобре-

ний идет увеличение количества листьев и составляет максимальную прибавку в 12,8 %. В фазу трубкавания разница к контролю колебалась от 17,8 % до 21,9 %. Существенную прибавку к контролю в 21,9 % показ вариант с применением препарата «Натурост-М». Итоговое измерение проводилось в фазу выметывания, где в каждом опытном варианте

Таблица 2
Средняя кустистость, шт.

Контроль	Контроль + удобрение	«Натурост-Актив»	«Натурост-Актив» + удобрение	«Натурост-М»	«Натурост-М» + удобрение
Фаза трех листьев					
1 ± 0,0	1 ± 0,0	1 ± 0,0	1 ± 0,0	1 ± 0,0	1 ± 0,0
Фаза начала кушения					
1 ± 0,0	1 ± 0,0	1 ± 0,0	1 ± 0,0	1 ± 0,0	1 ± 0,0
Фаза трубкавания					
1,3 ± 0,1*	1 ± 0,0	1,4 ± 0,2*	1,5 ± 0,2*	1,3 ± 0,1*	1,9 ± 0,2*
НСР ₀₅ = 0,6					
Фаза начала выметывания					
1,7 ± 0,3	1,5 ± 0,2	1,9 ± 0,3	2,3 ± 0,4	2,2 ± 0,3	1,7 ± 0,3
НСР ₀₅ = 1,2					

Примечание. * Разница с контролем статистически достоверна при P < 0,5.
Источник: составлено авторами по результатам исследований.

Table 2
Average bushiness, pcs.

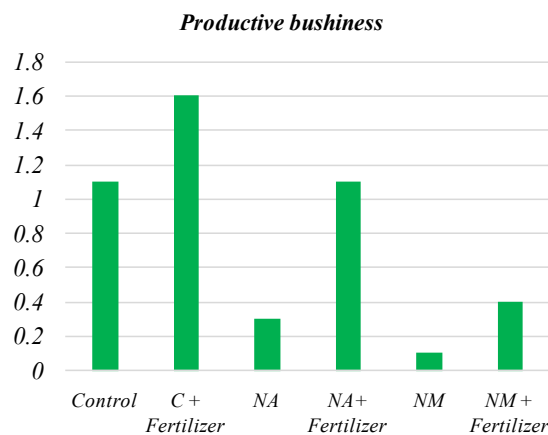
Control	Control + fertilizer	“Naturost-Aktiv”	“Naturost-Aktiv” + fertilizer	“Naturost-M”	“Naturost-M” + fertilizer
Phase of 3 leaves					
1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0
Tillering phase					
1 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0
Piping phase					
1.3 ± 0.1*	1 ± 0.0*	1.4 ± 0.2*	1.5 ± 0.2*	1.3 ± 0.1*	1.9 ± 0.2*
LSD ₀₅ = 0.6					
Phase of the beginning of the sweep					
1.7 ± 0.3	1.5 ± 0.2	1.9 ± 0.3	2.3 ± 0.4	2.2 ± 0.3	1.7 ± 0.3
LSD ₀₅ = 1.2					

Note. * The difference with control is statistically significant at P < 0.5.
Source: compiled by the authors based on research results.



НСР₀₅ = 0,9

Рис. 1. Количество продуктивных органов, шт.



LSD₀₅ = 0.9

Fig. 1 Number of productive organs, pcs.

Среднее количество листьев на растении, шт.

Контроль	Контроль + удобрение	«Натурост-Актив»	«Натурост-Актив» + удобрение	«Натурост-М»	«Натурост-М» + удобрение
Фаза трех листьев					
3,6 ± 0,2	3,9 ± 0,2	4,4 ± 0,2	4,4 ± 0,3	4,1 ± 0,2	4,1 ± 0,1
НСР ₀₅ = 0,8					
Фаза начала кушения					
3,9 ± 0,2	4,3 ± 0,2	4,1 ± 0,2	4,2 ± 0,2	3,9 ± 0,2	4,4 ± 0,4
НСР ₀₅ = 0,8					
Фаза трубкования					
7,3 ± 0,5*	6,0 ± 0,3*	7,3 ± 0,5*	6,9 ± 0,3*	7,0 ± 0,5*	8,9 ± 0,5*
НСР ₀₅ = 2,1*					
Фаза начала выметывания					
9,3 ± 1,0	9,5 ± 0,4	10,3 ± 1,1	12,3 ± 1,5	11,9 ± 1,4	11,0 ± 1,6
НСР ₀₅ = 5,7					

Примечание. * Разница с контролем статистически достоверна при $P < 0,5$.

Источник: составлено авторами по результатам исследований.

Table 3
Average number of leaves per plant, pcs.

Control	Control + fertilizer	“Natuorst-Aktiv”	“Natuorst-Aktiv” + fertilizer	“Natuorst-M”	“Natuorst-M” + fertilizer
Phase of 3 leaves					
3.6 ± 0.2	3.9 ± 0.2	4.4 ± 0.2	4.4 ± 0.3	4.1 ± 0.2	4.1 ± 0.1
LSD ₀₅ = 0.8					
Tillering phase					
3.9 ± 0.2	4.3 ± 0.2	4.1 ± 0.2	4.2 ± 0.2	3.9 ± 0.2	4.4 ± 0.4
LSD ₀₅ = 0,8					
Piping phase					
7.3 ± 0.5*	6.0 ± 0.3*	7.3 ± 0.5*	6.9 ± 0.3*	7.0 ± 0.5*	8.9 ± 0.5*
LSD ₀₅ = 2.1*					
Phase of the beginning of the sweep					
9.3 ± 1.0	9.5 ± 0.4	10.3 ± 1.1	12.3 ± 1.5	11.9 ± 1.4	11.0 ± 1.6
LSD ₀₅ = 5.7					

Note. * The difference with control is statistically significant at $P < 0.5$.

Source: compiled by the authors based on research results.

была положительная прибавка от 2,2 % до 32,3 %. Наибольшая прибавка к контролю (32,3 %) отмечалась в вариантах с препаратом «Натурост-Актив» и внесением удобрений и составляла, а также в варианте с применением препарата «Натурост-М» на основе бактерии *Bacillus megaterium*. В таблице 3 представлены данные по количеству листьев в убираемые фазы по вариантам.

Средняя площадь листовой поверхности в фазу трех листьев в опытных вариантах больше относительно контроля на 7,3–45,6 %. Во вторую измеряемую фазу максимальная прибавка площади листовой поверхности к контролю наблюдается во всех вариантах, кроме варианта с применением препарата «Натурост-М», где наблюдается снижение площади листовой поверхности на 9,6 % относительно контроля. Максимальная прибавка к контролю в 181,5 % и 53,3 % наблюдается в варианте «Натурост-М» + удобрение и варианте «контроль + удобрение» соответственно. В фазу начала выметывания

прибавка к контролю отмечалась в вариантах с использованием биопрепаратов и внесением удобрений. Таким образом, прибавка в варианте «Натурост-Актив» + удобрение составила 23,2 %, в варианте с использованием препарата «Натурост-М» и внесением удобрений – 42,5 %. Данные по площади листьев представлены в таблице 4.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По представленным данным можно подвести промежуточный итог, что используемые микробиологические препараты оказывают некоторое влияние на морфометрические и продуктивные качества растений сорго суданского в положительной динамике, но наиболее существенное увеличение биомассы при данных условиях наблюдалось в вариантах с использованием и биологических препаратов и удобрения.

Проведение исследования указанных параметров суданской травы проводилось в 4 фазы развития растений – фазу трех листьев, кушения,

трубкования, выметывания. Увеличение среднего показателя общей кустистости начинается в фазу трубкования. Максимальная прибавка к контролю в 7,7–15,4 % отмечается в вариантах с применением биопрепаратов и внесением удобрений. В фазу выметывания ситуация несколько меняется. Вариант на основе штамма *Lactobacillus buchneri* и аналогичный вариант с внесением удобрений дает прибавку к контролю в 11,7–35,3 %. Вариант на основе *Bacillus megaterium* увеличивает средний показатель кустистости на 29,4 %.

Образование продуктивных органов было отмечено в каждом варианте. В контроле количество продуктивных органов составляло $1,1 \pm 0,3$ шт. Прибавка к контролю в 45,5 % фиксировалась только в варианте контроля с внесением удобрений. На уровне контроля продуктивность держалась в варианте с использованием препарата «Натурост-Ак-

тив» и внесением удобрений. В остальных вариантах фиксировались единичные растения.

При этом отчетливо видна разница по количеству листьев. В фазу трех листьев идет увеличение среднего показателя количества листьев во всех опытных вариантах, прибавка к контролю составляет до 22,2 %. Максимальная положительная разница отмечается в варианте с использованием препарата «Натурост-Актив» и аналогичным вариантом с внесением удобрений (препарат «Натурост-Актив» является микробиологическим удобрением и стимулятором роста) На стадии выметывания положительная прибавка вариантов с применением биопрепаратов и внесением удобрений сохраняется и составляет в паре «Натурост-Актив» и «Натурост-Актив» + удобрение 10,7 % и 32,3 %, в паре «Натурост-М» и «Натурост-М» + удобрение – 18,3 % и 27,9 % соответственно.

Таблица 4
Средняя площадь поверхности листьев, мм

Контроль	Контроль + удобрение	«Натурост-Актив»	«Натурост-Актив» + удобрение	«Натурост-М»	«Натурост-М» + удобрение
Фаза трех листьев					
323,9 ± 28,1	471,7 ± 48,8	356,9 ± 32,9	347,7 ± 42,4	394,2 ± 44,1	435,5 ± 47,7
НСР ₀₅ = 162,6					
Фаза начала кушения					
844,2 ± 87,7*	1 294,5 ± 99,6*	1 052,5 ± 162,5*	1 198,8 ± 153,5*	810,3 ± 86,3*	2 376,6 ± 308,6*
НСР ₀₅ = 662,2*					
Фаза трубкования					
4 713,5 ± 388,2*	5 362,4 ± 519,4*	4 032,7 ± 296,0*	5 010,5 ± 297,7*	3 902,0 ± 432,3*	6 642,2 ± 547,8*
НСР ₀₅ = 1 670,9*					
Фаза начала выметывания					
11 076,0 ± 1 647,8*	9 002,2 ± 1 194,2*	10 366,4 ± 1 629,6*	13 643,2 ± 1 256,4*	9 990,8 ± 1 382,7*	15 779,4 ± 2 424,8*
НСР ₀₅ = 6 453,5*					

Примечание. * Разница с контролем статистически достоверна при $P < 0,5$.

Источник: составлено авторами по результатам исследований.

Table 4
Average leaf surface area, mm

Control	Control + fertilizer	“Natuorst-Aktiv”	“Natuorst-Aktiv” + fertilizer	“Natuorst-M”	“Natuorst-M” + fertilizer
Phase of 3 leaves					
323.9 ± 28.1	471.7 ± 48.8	356.9 ± 32.9	347.7 ± 42.4	394.2 ± 44.1	435.5 ± 47.7
LSD ₀₅ = 162.6					
Tillering phase					
844.2 ± 87.7*	1 294.5 ± 99.6*	1 052.5 ± 162.5*	1 540.9 ± 148.1*	1 198.8 ± 153.5*	810.3 ± 86.3*
LSD ₀₅ = 662.2*					
Piping phase					
4 713.5 ± 388.2*	5 362.4 ± 519.4*	4 032.7 ± 296.0*	5 010.5 ± 297.7*	3 902.0 ± 432.3*	6 642.2 ± 547.8*
LSD ₀₅ = 1 670.9*					
Phase of the beginning of the sweep					
11 076.0 ± 1 647.8*	9 002.2 ± 1 194.2*	10 366.4 ± 1 629.6*	13 643.2 ± 1 256.4*	9 990.8 ± 1 382.7*	15 779.4 ± 2 424.8*
LSD ₀₅ = 6453.5*					

Note. * The difference with control is statistically significant at $P < 0.5$.

Source: compiled by the authors based on research results.

Средняя площадь листовой поверхности в фазу трех листьев в опытных вариантах больше относительно контроля на 7,3–45,6 %. В фазу начала выметывания прибавка к контролю отмечалась в вариантах с использованием биопрепаратов и внесением удобрений на 23,2–42,5 %.

По всем признакам относительно контроля, где обработка семенного материала проводилась водой, максимальная прибавка наблюдалась в вариантах с использованием биопрепаратов и внесением удобрений. Так как почва опытного участка характеризуется довольно скудным содержанием питательных элементов, препараты, обладающие способностью переводить в доступную форму фосфор и калий, увеличивать коэффициент использования

удобрений и стимулировать развитие корневой системы, показали некоторую эффективность. Стоит выделить вариант с использованием препарата «Натурост-Актив» на основе бактерий *Lactobacillus buchneri* и внесением удобрений, где в совокупности по трем перечисленным признакам отмечается значительная прибавка к контролю.

Опыт планируется продолжать для дальнейшего изучения влияния препаратов на сорго суданское, также планируется расширение сортового и видového перечня сельскохозяйственных культур.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках государственного задания FMGZ-2022-0010.

Библиографический список

1. Назаров А. А. Повышение продуктивности животноводческих отраслей через формирование устойчивой кормовой базы // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2015. № 1 (10). С. 98–100.
2. Журавель Н. В., Чумакова В. В., Мартиросян В. В. Зерновой амарант – перспективная культура // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 10. С. 71–72.
3. Solodun V. I., Polnomochnov D. A., Boyarkin E. V. Influence of sowing time on the yield of green mass of the sudan grass in the forest-steppe of pre-baikal region // Vestnik IRGSHA. 2020. No. 100. Pp. 82–88.
4. Петров В. Б., Чеботарь В. К. Микробиологические препараты в практическом растениеводстве России: функции, эффективность, перспективы [Электронный ресурс] // Бисолби микробные препараты. Библиотека: справочные материалы и другая полезная информация доступная для скачивания: сайт. URL: <http://bisolbiplus.ru/docs/28.pdf> (дата обращения: 01.03.2023).
5. Максимов И. В., Сингх Б. П., Черепанова Е. А., Бурханова Г. Ф., Хайруллин Р. М. Перспективы применения бактерий – продуктов липопептидов для защиты растений (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. № 56 (1). С. 19–34.
6. Разумкова Г. М. Перспективы производства и использования бактериальных удобрений // VIII Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика: материалы международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2020. С. 28–32.
7. Тихонович И. А., Завалин А. А., Благовещенская Г. Г., Кожемяков А. П. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений // Плодородие. 2011. № 3 (60). С. 9–13.
8. Сырмолот О. В., Байделюк Е. С., Кочева Н. С. Применение биопрепаратов и стимуляторов роста при возделывании сои в Приморском крае // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 8. С. 70–74.
9. Васильева Е. Н., Ахтемова Г. А., Жуков В. А., Тихонович И. А. Эндофитные микроорганизмы в фундаментальных исследованиях и сельском хозяйстве // Экологическая генетика. 2019. № 17 (1). С. 19–32.
10. Веселова С. В., Бурханова Г. Ф., Румянцев С. Д., Благова Д. К., Максимов И. В. Бактерии рода *Bacillus* в регуляции устойчивости пшеницы к обыкновенной злаковой бактерии *Schizaphis graminum* Rond. // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. № 1. С. 56–63.
11. Шулико Н. Н., Хамова О. Ф., Воронкова Н. А., Тукмачева Е. Е., Дороненко В. Д. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агробиология. 2019. № 2. С. 13–20.
12. Moysa P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterna M. New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina // Biological Control. 2020. No. 141. Pp. 104–152. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104152.
13. Sabaté D. C., Petroselli G., Erra-Balsells R., Audisio M. C., Pérez C. Brandan Beneficial effect of *Bacillus* sp. P12 on soil biological activities and pathogen control in common bean // Biological Control. 2020. No. 141. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104131.
14. Бирюков Е. В. Возможность применения биопрепарата триходермин в качестве микробиологического удобрения в условиях Тамбовской области // Вопросы современной науки и практики Университет им. В. И. Вернадского. 2008. Т. 1. № 11. С. 84–92.
15. Avdeenko A., Avdeenko S., Domatskiy V., Platonov A. *Bacillus subtilis* based products as an alternative to agrochemicals // Research on Crops. 2020. No. 21 (1). Pp. 156–159. DOI: 10.31830/2348-7542.2020.026.

16. Феклистова И. Н., Садовская Л. Е., Маслак Д. В., Гринева И. А., Кулешова Ю. М., Скакун Т. Л., Ломоносова В. А., Лысак В. В., Максимова Н. П. Биологические препараты для защиты и повышения урожая сельскохозяйственных культур // Биологически активные препараты для растениеводства: материалы конференции. Минск, 2018. С. 196–198.
17. Платонов А. В., Рассохина И. И., Сухарева Л. В., Лаптев Г. Ю., Большаков В. Н. Продуктивность кормовых трав при использовании микробиологических препаратов в условиях Вологодской области // Кормопроизводство. 2021. № 1. С. 21–25. DOI: 10.25685/KRM.2021.1.2021.001.
18. Лисина Т. О., Кононенко А. Н., Круглов Ю. В. Влияние *BACILLUS MEGATERIUM* 501 GR на продуктивность семенного картофеля // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: материалы III Международной научной конференции. Ялта, 2018. С. 40–41.
19. Zou C., Li Z., Yu D. *Bacillus megaterium* strain XTBG34 promotes plant growth by producing 2-pentylfuran // The Journal of Microbiology. 2010. No. 48. Pp. 460–466. DOI: 10.1007/s12275-010-0068-z.

Об авторе:

Любовь Владимировна Сухарева, младший научный сотрудник¹, аспирант², ORCID 0000-0002-1069-0856, AuthorID 959592; +7 900 506-81-72, lyubov.suxareva@yandex.ru

¹ Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия

² Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина, Молочное, Россия

References

- Nazarov A. A. Povyshenie produktivnosti zhivotnovodcheskikh otrasley cherez formirovanie ustoychivoy kormovoy bazy [Improving the productivity of livestock industries through the formation of a sustainable fodder base] // Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration. 2015. No. 1 (10). Pp. 98–100.
- Zhuravel' N. V., Chumakova V. V., Martirosyan V. V. Zernovoy amarant – perspektivnaya kul'tura [Grain amaranth is a promising crop] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2012. No. 10. Pp. 71–72. (In Russian.)
- Solodun V. I., Polnomochnov D. A., Boyarkin E. V. Influence of sowing time on the yield of green mass of the sudan grass in the forest-steppe of pre-baikal region // Vestnik IRGSHA. 2020. No. 100. Pp. 82–88.
- Petrov V. B., Chebotar' V. K. Mikrobiologicheskie preparaty v prakticheskom rastenievodstve Rossii: funktsii, effektivnost', perspektivy [Microbiological preparations in practical crop production in Russia: functions, efficiency, prospects] [e-resource] // Bisolbi mikrobynye preparaty. Biblioteka: spravochnye materialy i drugaya poleznaya informatsiya dostupnaya dlya skachivaniya: site. URL: <http://bisolbiplus.ru/docs/28.pdf> (date of reference: 01.03.2023). (In Russian.)
- Maksimov I. V., Singkh B. P., Cherepanova E. A., Burkhanova G. F., Khayrullin R. M. Perspektivy primeneniya bakteriy – produktov lipopeptidov dlya zashchity rasteniy (obzor) [Prospects of application of bacteria – products of lipopeptides for plant protection (review)] // Applied Biochemistry and Microbiology. 2020. No. 56 (1). Pp. 19–34.
- Razumkova G. M. Perspektivy proizvodstva i ispol'zovaniya bakterial'nykh udobreniy [Prospects for production and use of bacterial fertilizers] // VIII Luzhskie nauchnye chteniya. Sovremennoe nauchnoe znanie: teoriya i praktika: materialy mezhdunar. nauch. konf. 22 maya 2020g. – Saint Petersburg: LGU im. A. S. Pushkina. 2020. Pp. 28–32. (In Russian.)
- Tikhonovich I. A., Zavalin A. A., Blagoveshchenskaya G. G., Kozhemyakov A. P. Ispol'zovanie biopreparatov – dopolnitel'nyy istochnik elementov pitaniya rasteniy [Use of biopreparation – an additional source of plant nutrition elements] // Plodorodie. 2011. No 3 (60). Pp. 9–13. (In Russian.)
- Syrmolot O. V., Baydelyuk E. S., Kocheva N. S. Primenenie biopreparatov i stimulyatorov rosta pri vozde-lyvanii soi v Primorskom krae [Application of biopreparations and growth stimulants in soybean cultivation in Primorsky Krai] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2020. No. 8. Pp. 70–74. (In Russian.)
- Vasil'eva E. N., Akhtemova G. A., Zhukov V. A., Tikhonovich I. A. Endofitnye mikroorganizmy v fundamental'nykh issledovaniyakh i sel'skom khozyaystve [Endophytic microorganisms in basic research and agriculture] // Ecological genetics. 2019. No 17 (1). Pp. 19–32. (In Russian.)
- Veselova S. V., Burkhanova G. F., Rumyantsev S. D., Blagova D. K., Maksimov I. V. Bakterii roda *Bacillus* v regulyatsii ustoychivosti pshenitsy k obyknovennoy zlakovoy bakterii *Schizaphis graminum* Rond [Bacteria of the genus *Bacillus* in the regulation of wheat resistance to the common cereal bacterium *Schizaphis graminum* Rond.] // Applied Biochemistry and Microbiology. 2019. No. 1. Pp. 56–63. (In Russian.)
- Shuliko N. N., Khamova O. F., Voronkova N. A., Tukmacheva E. E., Doronenko V. D. Vliyanie kompleksnogo primeneniya udobreniy i biopreparatov na effektivnoe plodorodie chernozema vyshchelochennogo i produk-

tivnost' yachmenya [Effect of complex application of fertilizers and biological preparations on effective fertility of leached chernozem and barley productivity] // Eurasian Soil Science. 2019. No 2. Pp. 13–20. (In Russian.)

12. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterna M. New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina // Biological Control. 2020. No. 141. Pp. 104–152. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104152.

13. Sabaté D. C., Petroselli G., Erra-Balsells R., Audisio M. C., Pérez C. Beneficial effect of *Bacillus* sp. P12 on soil biological activities and pathogen control in common bean // Biological Control. 2020. No. 141. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104131.

14. Biryukov E. V. Vozmozhnost' primeneniya biopreparata trikhodermin v kachestve mikrobiologicheskogo udobreniya v usloviyakh Tambovskoy oblasti [Possibility of Trichodermin biopreparation application as a microbiological fertilizer under the conditions of the Tambov region] // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo. 2008. Vol. 1. No 11. Pp. 84–92. (In Russian.)

15. Avdeenko A., Avdeenko S., Domatskiy V., Platonov A. *Bacillus subtilis* based products as an alternative to agrochemicals // Research on Crops. 2020. No. 21 (1). Pp. 156–159. DOI: 10.31830/2348-7542.2020.026.

16. Feklistova I. N., Sadovskaya L. E., Maslak D. V., Grineva I. A., Kuleshova Yu. M., Skakun T. L., Lomonosova V. A., Lysak V. V., Maksimova N. P. Biologicheskie preparaty dlya zashchity i povysheniya urozhaya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Biological preparations for crop protection and yield increase] // Biologicheski aktivnye preparaty dlya rastenievodstva: materialy konferentsii. Minsk, 2018. Pp. 196–198. (In Russian.)

17. Platonov A. V., Rassokhina I. I., Sukhareva L. V., Laptev G. Yu., Bol'shakov V. N. Produktivnost' kormovykh trav pri ispol'zovanii mikrobiologicheskikh preparatov v usloviyakh Vologodskoy oblasti [Productivity of forage grasses when using microbiological preparations in the conditions of the Vologda Region] // Kormoproizvodstvo. 2021. No. 1. Pp. 21–25. DOI: 10.25685/KRM.2021.1.2021.001. (In Russian.)

18. Lisina T. O., Kononenko A. N., Kruglov Yu. V. Vliyanie *Bacillus megaterium* 501 GR na produktivnost' semennogo kartofelya [Effect of *Bacillus megaterium* 501 GR on seed potato productivity] // Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya agrarnoy nauki: materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Yalta, 2018. Pp. 40–41. (In Russian.)

19. Zou C., Li Z., Yu D. *Bacillus megaterium* strain XTBG34 promotes plant growth by producing 2-pentylfuran // The Journal of Microbiology. 2010. No. 48. Pp. 460–466. DOI: 10.1007/s12275-010-0068-z.

Author's information:

Lyubov V. Sukhareva, junior researcher¹, postgraduate², ORCID 0000-0002-1069-0856, AuthorID 959592; +7 900 506-81-72, lyubov.suxareva@yandex.ru

¹ Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia

² Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin, Molochnoe, Russia

Урожайность сортов сои в Центральном Нечерноземье при использовании различных норм внесения регулятора роста

А. А. Тевченков¹✉, З. С. Федорова², Е. И. Сеничев¹

¹ Липецкий научно-исследовательский институт рапса – филиал Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», Липецк, Россия

² Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева, Калуга, Россия

✉ E-mail: soya@lniir.ru

Аннотация. При выращивании экологически чистой продукции сои необходимо использовать безопасные и малоопасные удобрения, средства защиты растений и биостимуляторы. Их применение обеспечивает повышение урожайности, позволяет уменьшать затраты на возделывание и получать продукцию высокого качества. **Целью исследований** являлось изучение влияния разных норм внесения регулятора роста «Зеребра Агро» на рост растений, формирование симбиотического аппарата, величину и качество урожая сои. **Методы исследований.** На основе трехлетних исследований сделан анализ влияния норм внесения регулятора роста на симбиотический аппарат, урожайность и качества семян сои. **Научная новизна.** В погоднo-климатических условиях Нечерноземной зоны Калужской области впервые определена оптимальная норма внесения регулятора роста «Зеребра Агро» для повышения урожайности сои. **Результаты.** Опрыскивание вегетирующих растений сорта Георгия в норме препарата 0,10, 0,15 и 0,20 л/га способствовало увеличению высоты растений на 3,6–6,3 см, площади листьев – на 7–16 %, сухой надземной массы – на 5–10 %, подземной – на 6–12 %, а у сорта Припять – увеличению высоты растений на 2,7–4,6 см, площади листьев – на 2–6 %, сухой надземной массы – на 3–6 %, подземной – на 3–7 %. У изучаемых сортов сои достоверно увеличивались количество и масса клубеньков при обработке препаратом с нормой 0,10 и 0,15 л/га. Применение регулятора роста «Зеребра Агро» способствовало повышению урожайности семян сортов сои Георгия на 0,12–0,80 т/га, а Припять – на 0,24–0,54 т/га. Достоверное увеличение урожайности на 0,8 т/га и содержание белка в семенах на 1,3 % отмечалось при обработке растений сорта Георгия в дозе 0,20 л/га. У сорта Припять увеличение содержания белка в семенах отмечалось во всех вариантах применения препарата «Зеребра Агро».

Ключевые слова: соя, регулятор роста, доза внесения, симбиотический аппарат, качество урожая.

Для цитирования: Тевченков А. А., Федорова З. С., Сеничев Е. И. Урожайность сортов сои в Центральном Нечерноземье при использовании различных норм внесения регулятора роста // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 22–31. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-22-31.

Дата поступления статьи: 15.06.2023, **дата рецензирования:** 08.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

Productivity of soybean varieties in the Central Non-Chernozem region using different rates of growth regulator application

A. A. Tevchenkov¹✉, Z. S. Fedorova², E. I. Senichev¹

¹Lipetsk Rapeseed Research Institute – the branch of the Federal Scientific Center “V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil crops”, Lipetsk, Russia

²Kaluga branch of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Kaluga, Russia

✉E-mail: soya@lniir.ru

Abstract. When growing environmentally friendly soybean products, it is necessary to use safe and low-hazard fertilizers, plant protection products and biostimulants. Their use increases productivity, reduces cultivation costs and produces high-quality products. **The purpose of the research** was to study the influence of different rates of application of the growth regulator “Zerebra Agro” on plant growth, the formation of the symbiotic apparatus, the size and quality of the soybean yield. **Research methods.** On the base of three years of research, an analysis was made of the influence of growth regulator application rates on the symbiotic apparatus, yield and quality of soybean seeds. **Scientific novelty.** In the weather and climatic conditions of the Non-Chernozem Zone of the Kaluga Region, the optimal rate of application of the growth regulator “Zerebra Agro” to increase soybean yields was determined for the first time. **Results.** Spraying vegetative plants of the Georgia variety at a rate of 0.10, 0.15 and 0.20 l/ha contributed to an increase in plant height by 3.6–6.3 cm, leaf area by 7–16 %, dry aboveground mass by 5–10 %, underground mass – by 6–12 %, and in the Pripyat’ variety – an increase in plant height by 2.7–4.6 cm, leaf area – by 2–6 %, dry aboveground mass – by 3–6 %, underground mass – by 3–7 %. In the studied soybean varieties, the number and weight of nodules significantly increased when treated with the drug at a rate of 0.10 and 0.15 l/ha. The use of the growth regulator “Zerebra Agro” contributed to an increase in the seed yield of soybean varieties: Georgiy by 0.12–0.80 t/ha, and Pripyat’ by 0.24–0.54 t/ha. A significant increase in yield by 0.8 t/ha and protein content in seeds by 1.3% was noted when plants of the Georgia variety were treated at a dose of 0.20 l/ha. In the Pripyat’ variety, an increase in the protein content in the seeds was noted in all variants of using the “Zerebra Agro” preparation.

Keywords: soybean, growth regulator, dose, symbiotic apparatus, yield.

For citation: Tevchenkov A. A., Fedorova Z. S., Senichev E. I. Urozhaynost’ sortov soi v Tsentral’nom Nechernozem’e pri ispol’zovanii razlichnykh norm vneseniya regulatora rosta [Productivity of soybean varieties in the Central Non-Chernozem region using different rates of growth regulator application] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 22–31. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-22-31. (In Russian.)

Date of paper submission: 15.06.2023, **date of review:** 08.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Одна из основных проблем агропромышленного комплекса России – дефицит растительного белка в питании людей и сельскохозяйственных животных. Решить эту проблему можно путем увеличения производства семян зернобобовых культур и прежде всего сои, которая является важнейшей масличной и белковой культурой [1, с. 7].

В настоящее время сою возделывают более чем в 60 странах мира на пяти континентах – в умеренном, субтропическом и тропическом поясах. Лидерами по производству сои в мире на 2021 год являются Бразилия – 35,9 % от мирового производства, США – 34,1 %, Аргентина – 12,3 %, Китай – 4,6 % [2, с. 16–17], а на долю России приходится лишь 1,3 % [3]. В нашей стране валовой сбор семян сои на 2021 год составил 4759 тыс. т при средней урожайности 1,7 т/га [4].

Высокое содержание в семенах сои полноценного по аминокислотному составу, растворимости и усвояемости белка от 32,0 до 48 % и высококачественного по жирно-кислотному составу масла до 25 % делают ее уникальной [5; 6]. Не случайно производство семян сои в мире возрастает, и в XXI веке эта культура по валовым сборам заняла 4-е место среди сельскохозяйственных культур после пшеницы, риса и кукурузы.

Важно отметить и агрономическое значение этой зернобобовой культуры. Она является отличным предшественником для сельскохозяйственных культур, особенно для колосовых [7, с. 65]. Соя повышает плодородие почвы благодаря способности усваивать атмосферный азот посредством симбиоза с клубеньковыми бактериями-азотфиксаторами. По разным источникам, соя может после себя оставить 250 кг/га и более азота в доступной форме для растений [8, с. 194].

Соя становится в нашей стране высокодоходной культурой, по экономической эффективности приближается к подсолнечнику и сахарной свекле. В настоящее время продолжается поиск путей повышения урожайности сои и качества семян [9, с. 216].

Одним из приемов в инновационной технологии возделывания сои является использование регуляторов роста растений, механизм действия которых основан на антибактериальном и фунгипротекторном свойствах, опосредованных стимуляцией иммунитета растений, ускорении процесса метаболизма и активации синтеза белка и углеводов. Своевременное применение и правильно выбранные дозы для обработки регуляторами роста позволяют регулировать темпы роста и развития растений, повысить устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды, а в итоге – увеличить урожайность и улучшить качество семян сои [10].

В производственном масштабе регуляторы роста стали применяться с тех пор, когда были выявлены синтетические вещества, способные вызывать у растений такие же реакции, как фитогормоны. Сегодня трудно переоценить значение регуляторов роста для современного сельскохозяйственного производства. Эти вещества используются для повышения интенсивности прорастания семян, управления ростом, цветением, плодоношением, созреванием и другими жизненными процессами для увеличения урожая, улучшения его качества и сокращения потерь при уборке и хранении продукции [10; 11].

В последние годы проводилось много научных исследований, направленных на выявление действия физиологически активных веществ на различные сельскохозяйственные культуры, изучались вопросы определения их оптимальных доз и концентраций, сроков и способов обработки семян и посевов [12, с. 50]. Для наших исследований был выбран регулятор роста «Зеребра Агро», который создан на основе передовых научных достижений в химии, биологии, физиологии растений, знаний о росте и развитии растений, безопасный для человека и окружающей среды. Этот препарат соединяет в себе свойства различных фитогормонов, обладает комплексным воздействием на растения и повышает эффективность природных гормонов.

Цель наших исследований заключалась в оценке реакции сортов сои на применение регулятора роста «Зеребра Агро» для выявления его влияния на продуктивность и качество урожая сои в условиях Центральной Нечерноземной зоны.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования по изучению влияния разных норм внесения регулятора роста «Зеребра Агро» на продуктивность и развитие симбиотического аппарата сои проводились в Калужской области в Спас-Деменском районе в 2017–2019 гг. Опыт был за-

ложен на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, которая характеризуется слабокислой реакцией среды ($pH_{\text{сое}} = 5,2$), содержанием гумуса (по Тюрину) 1,6 %, содержанием подвижного фосфора (по Кирсанову) 100 мг/кг почвы, обменного калия (по Кирсанову) – 65 мг/кг почвы и азота легкогидролизуемого (по Тюрину) – 50 мг/кг почвы.

Объектами исследований были два сорта сои (Припять и Георгия, рекомендованные для возделывания в Центральном регионе РФ) и регулятор роста «Зеребра Агро». Сорт Припять раннеспелый, вегетационный период от посева до полной спелости (в условиях Калужской области) составляет 90–100 суток, содержание в семенах белка – 31,5–38,0 % и масла – 22,0–23,0 %. Сорт высокоурожайный, средняя урожайность в условиях Калужской области составляет 1,38–1,40 т/га. С 2007 года данный сорт успешно возделывается в северной и южной частях ЦФО Российской Федерации. Сорт Георгия включен в реестр разрешенных для возделывания в Центральном регионе в 2017 году, он относится к раннеспелой группе, созревает за 95–110 суток, содержание белка в семенах – 38,6 %, масла – 21,7 %. Средняя урожайность данного сорта составляет 1,17–1,30 т/га.

Действие регулятора роста «Зеребра Агро», согласно описанию разработчика, основано на специфических свойствах серебра стимулировать биологические процессы растений, усилить энергетический обмен в тканях, в результате чего растения быстрее восстанавливают свои защитные функции. Благодаря уникальному сочетанию двух действующих веществ фунгицидный и бактерицидный эффекты даже в такой незначительной концентрации коллоидного серебра проявляются в виде сдерживания и частичного подавления патогенной микрофлоры.

Схема опыта включила в себя четыре варианта: контроль и три нормы регулятора роста – 0,10, 0,15 и 0,20 л/га. Обработку проводили по вегетирующим растениям сои в фазу бутонизации – начала цветения (V4) из расчета расхода рабочей жидкости 200 л/га. Обработку растений проводили с помощью прицепного опрыскивателя УГ.

Полевой опыт закладывали в трехкратной повторности. Учетная площадь делянки – 20 м². В опыте проводили следующие учеты: определение количества и массы клубеньков, вегетативной массы с одного растения, площади листьев методом высечек, структуры урожайности и качества полученного урожая семян сои. Учет количества и массы клубеньков проводили методом отбора монолитов почвы с корнями и надземной биомассой растений. Площадь монолита составляла 0,1 м² на глубину 20 см. Все исследования проводили согласно методике ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК [13, с. 445–456].

В день посева семена обрабатывали инокулянтом «Нордикс Ж» в дозе расхода препарата 1 л/т семян. Сою высевали зерновой сеялкой марки «Клен-6» с междурядьями 15 см и нормой высева 500 тыс. шт. всхожих семян на 1 га. В течение вегетации в посевах сои проводили две обработки гербицидами. Первую обработку почвенным гербицидом проводили по всходам (VE), вторую – в фазу бутонизации (V4–V5) опрыскивателем UG. Уборку сои проводили в фазу полной спелости семян при влажности семян 15–16 % зерноуборочным комбайном gs2124. После уборки урожая проводили первичную очистку семян и доведение их до влажности 9–10 %. Урожайные данные приведены к 100-процентной чистоте и 14 % влажности.

Калужская область находится в умеренно-континентальной зоне, где сумма активных температур за вегетационный период с мая по сентябрь по средним многолетним данным составляет 2181 °С, количество осадков – до 600 мм. Распределение гидротермических ресурсов крайне неравномерно по месяцам. Продолжительность периода без отрицательных температур составляет 203–223 дня.

Погодные условия в годы проведения исследований существенно различались. В 2017 и 2019 годы температура воздуха по месяцам вегетации сои была ниже по сравнению со средними многолетними данным и по сравнению с 2018 годом.

В 2017 году погодные условия были менее благоприятными для роста сои, средняя температура воздуха за вегетационный период была ниже 0,9 °С по сравнению с нормой. Количество выпавших осадков в период мая по сентябрь составило 686 мм, что в 2 раза выше нормы. Агроклиматические условия 2018 года были благоприятными для роста и развития растений сои: температура воздуха была

выше на 0,6 °С с достаточным количеством осадков в сравнении со средними многолетними значениями. Температурный режим в условиях 2019 года был ниже климатической нормы на 0,3 °С в течение всего сезона с количеством осадков 634,3 мм, что выше климатической нормы.

Результаты (Results)

Активная симбиотическая деятельность определяется не только числом, но и массой клубеньков [14–18]. В течение вегетации эти показатели изменялись и максимум их отмечался в фазе налива семян (R6) у изучаемых сортов (таблица 1).

У растений сорта Георгия во все фазы развития норма внесения регулятора роста 0,10 и 0,15 л/га обеспечивала достоверное увеличение количества и массы клубеньков. Например, в фазе налива семян количество клубеньков увеличивалось на 6–11 %, а их сырая масса – на 9–15 % соответственно. При более высокой норме внесения препарата 0,20 л/га, напротив, отмечалось достоверное снижение их количества и массы на 3 %.

Обработка вегетирующих растений сорта Припятя регулятором роста «Зеребра Агро» с нормой внесения препарата 0,10 и 0,15 л/га также обеспечивала существенное увеличение числа и массы клубеньков во все фазы. Так, в фазе налива семян число клубеньков было больше, чем в контроле, на 13–18 %, а их сырая масса – на 15–20 % соответственно. При норме внесения препарата 0,20 л/га, так же как и у растений сорта Георгия, отмечалось снижение числа клубеньков на 3 %, а их сырой массы – на 2 %.

В период вегетации сои определяли не только активность симбиоза, но также и высоту растений, вегетативную массу с одного растения, площадь листьев (таблица 2).

Таблица 1
Влияние нормы внесения регуляторов роста «Зеребра Агро» на формирование симбиотического аппарата сои

Вариант		Количество клубеньков по фазам развития, шт/растение				Сырая масса клубеньков по фазам развития, мг/растение			
Сорта – фактор А	Доза регулятора роста – фактор В	Бутонизация R1	Цветение R2	Образование бобов R4	Налив семян R6	Бутонизация R1	Цветение R2	Образование бобов R4	Налив семян R6
	0,10 л/га	19,3	26,0	29,7	34,3	88,6	119,3	136,2	157,6
	0,15 л/га	20,3	27,7	31,3	36,0	93,6	127,7	144,6	166,3
	0,20 л/га	17,7	21,7	25,0	31,3	79,4	97,4	112,3	140,7
Припятя	Контроль	20,7	25,0	29,7	35,0	94,1	113,8	135,1	159,4
	0,10 л/га	23,7	28,3	33,7	39,7	109,5	131,2	156,0	183,8
	0,15 л/га	24,3	30,3	35,7	41,3	113,0	141,0	166,0	192,5
	0,20 л/га	21,3	23,3	28,3	34,3	97,5	106,6	129,3	156,9
НСР ₀₅ фактор А		0,30	0,54	0,99	0,86	4,60	1,40	1,80	1,90
НСР ₀₅ фактор В		0,54	0,61	1,02	0,99	6,10	1,70	2,10	2,10

Table 1
Influence of “Zerebra Agro” growth regulator doses on the symbiotic apparatus formation of soybean

Variant		Nodule number in different development phases, pcs/plant				Nodule wet weight in different development phases, pcs/plant			
Cultivars – factor A	Growth regulator dose – factor B	Budding R1	Flowering R2	Podding R4	Seed filling R6	Budding R1	Flowering R2	Podding R4	Seed filling R6
Georiya	Control	16.3	22.7	27.3	32.3	72.7	100.9	121.7	143.9
	0.10 l/ha	19.3	26.0	29.7	34.3	88.6	119.3	136.2	157.6
	0.15 l/ha	20.3	27.7	31.3	36.0	93.6	127.7	144.6	166.3
	0.20 l/ha	17.7	21.7	25.0	31.3	79.4	97.4	112.3	140.7
Pripyat	Control	20.7	25.0	29.7	35.0	94.1	113.8	135.1	159.4
	0.10 l/ha	23.7	28.3	33.7	39.7	109.5	131.2	156.0	183.8
	0.15 l/ha	24.3	30.3	35.7	41.3	113.0	141.0	166.0	192.5
	0.20 l/ha	21.3	23.3	28.3	34.3	97.5	106.6	129.3	156.9
LSD ₀₅ factor A		0.30	0.54	0.99	0.86	4.60	1.40	1.80	1.90
LSD ₀₅ factor B		0.54	0.61	1.02	0.99	6.10	1.70	2.10	2.10

Таблица 2

Формирование вегетативных органов и площади листьев сортов сои в фазу полного налива семян в зависимости от нормы внесения регулятора роста «Зербра Агро»

Вариант		Высота растений, см	Масса надземных органов, г/растение		Масса корней, г/растение		Площадь листьев, см ² /растение
Сорт – фактор А	Доза регулятора роста – фактор В		Сырая	Сухая	Сырая	Сухая	
Георгия	Контроль	61,2	79,5	25,8	17,3	8,2	238,9
	0,10 л/га	64,8	84,0	27,3	18,3	8,7	257,5
	0,15 л/га	66,1	86,3	28,0	18,8	8,9	274,1
	0,20 л/га	67,5	88,2	28,6	19,2	9,2	278,4
Припять	Контроль	75,7	85,9	27,9	18,7	8,9	317,1
	0,10 л/га	78,4	88,5	28,7	19,2	9,1	326,4
	0,15 л/га	79,5	88,9	28,9	19,3	9,2	330,7
	0,20 л/га	80,3	91,8	29,8	20,0	9,5	339,2
НСР ₀₅ фактор А		1,20	0,98	0,87	0,49	0,97	1,09
НСР ₀₅ фактор В		2,09	1,16	1,45	0,87	1,06	2,10

Table 2

The formation of vegetative organs and leaf area of soybean depending on “Zerebra Agro” growth regulator application rates

Variant		Plant height, cm	Weight of aboveground mass, g/plant		Root weight, g/plant		Leaf area, cm ² /plant
Cultivars – factor A	Growth regulator dose – factor B		Wet	Dry	Wet	Dry	
Georiya	Control	61.2	79.5	25.8	17.3	8.2	238.9
	0.10 l/ha	64.8	84.0	27.3	18.3	8.7	257.5
	0.15 l/ha	66.1	86.3	28.0	18.8	8.9	274.1
	0.20 l/ha	67.5	88.2	28.6	19.2	9.2	278.4
Pripyat	Control	75.7	85.9	27.9	18.7	8.9	317.1
	0.10 l/ha	78.4	88.5	28.7	19.2	9.1	326.4
	0.15 l/ha	79.5	88.9	28.9	19.3	9.2	330.7
	0.20 l/ha	80.3	91.8	29.8	20.0	9.5	339.2
LSD ₀₅ factor A		1.20	0.98	0.87	0.49	0.97	1.09
LSD ₀₅ factor B		2.09	1.16	1.45	0.87	1.06	2.10

При определении высоты растений было установлено, что сорта сои положительно реагировали на обработку регулятором роста «Зеребра Агро» во всех вариантах опыта. Растения сорта Георгия превосходили контроль по этому показателю на 3,6–6,3 см, а растения сорта Припять – на 2,7–4,6 см, где она была выше при использовании максимальной нормы внесения 0,20 л/га.

Продуктивность сои в значительной мере зависит от деятельности листового аппарата её растений. Опрыскивание посевов в фазе бутонизации способствовало увеличению площади листовой поверхности одного растения у сорта Георгия на 7–14 %, а у сорта Припять – на 2–6 % в сравнении с контрольными вариантами.

При определении сухой массы вегетативной части и корней растений отмечалась такая же тенденция: с увеличением нормы внесения регулятора роста увеличивались данные показатели. У обработанных растений сорта Георгия сухая надземная масса с одного растения увеличивалась на 5–10 %, подземная – на 6–12 % в зависимости от нормы внесения регулятора роста. У обработанных растений сорта Припять сухая надземная масса с одного

растения увеличивалась на 3–6 %, масса корней – на 3–7 % в сравнении с необработанными.

Изучение влияния регулятора роста «Зеребра Агро» на растения двух сортов сои показало, что сорт Георгия более отзывчив на препарат, чем сорт Припять. Опрыскивание посевов сорта Георгия в норме 0,10 л/га обеспечивало увеличение высоты растений на 3,6 см, площади листьев на 7 %, надземной сухой массы – на 5 %, подземной – на 6 %; с нормой 0,15 л/га высоты растений на 4,9 см, площади листьев на 14 %, надземной сухой массы на 8 %; подземной – на 9 %; с нормой 0,20 л/га высоты растений на 6,3 см, площади листьев на 16 %, надземной сухой массы на 10 %; подземной – на 12 %.

Опрыскивание вегетирующих растений сорта Припять с нормой 0,10 л/га обеспечивало увеличение высоты растений на 2,7 см, площади листьев – на 2 %, надземной сухой массы – на 3 %, подземной – на 3 %; с нормой 0,15 л/га высоты растений на 3,6 см, площади листьев – на 4 %, надземной сухой массы – на 3 %; подземной – на 4 %; с нормой 0,20 л/га – высоты растений на 4,6 см, площади листьев – на 6 %, надземной сухой массы – на 6 %; подземной – на 7 %.

Таблица 3

Влияние норм внесения регулятора роста «Зеребра Агро» на урожай и качество семян сои

Вариант		Урожайность, т/га	Прибавка к контролю		Содержание в семенах, %	
Сорта – фактор А	Доза регулятора роста – фактор В		т/га	%	белка	жира
Георгия	Контроль	2,34	–	–	37,90	16,30
	0,10 л/га	2,46	0,12	5,15	38,00	16,40
	0,15 л/га	2,94	0,60	25,74	38,10	16,20
	0,20 л/га	3,15	0,80	34,36	39,20	16,40
Припять	Контроль	2,94	–	–	38,20	20,40
	0,10 л/га	3,19	0,24	8,31	39,30	20,50
	0,15 л/га	3,37	0,42	14,42	39,70	20,30
	0,20 л/га	3,48	0,54	18,23	39,70	20,20
НСР ₀₅ фактор А		0,50	–	–	–	–
НСР ₀₅ фактор В		0,74	–	–	–	–

Table 3

Influence of “Zerebra Agro” growth regulator doses on soybean seed yield and quality

Variant		Yield, t/ha	Increase compared to control variant		Content in seeds, %	
Cultivars – factor A	Growth regulator dose – factor B		t/ha	%	Protein	Fat
Georgiya	Control	2.34	–	–	37.90	16.30
	0.10 l/ha	2.46	0.12	5.15	38.00	16.40
	0.15 l/ha	2.94	0.60	25.74	38.10	16.20
	0.20 l/ha	3.15	0.80	34.36	39.20	16.40
Pripyat	Control	2.94	–	–	38.20	20.40
	0.10 l/ha	3.19	0.24	8.31	39.30	20.50
	0.15 l/ha	3.37	0.42	14.42	39.70	20.30
	0.20 l/ha	3.48	0.54	18.23	39.70	20.20
LSD ₀₅ factor A		0.50	–	–	–	–
LSD ₀₅ factor B		0.74	–	–	–	–

Конечным результатом деятельности посевов сои является урожай семян и его качество (таблица 3). При определении структуры урожая сорта Георгия установили, что при обработке в фазе начало цветения нормами регулятора роста «Зеребра Агро» 0,10 и 0,15 л/га отмечалась тенденция увеличения количества бобов на одном растении с превышением над контролем менее значения НСР по этому показателю.

Однако опрыскивание растений в норме 0,20 л/га обеспечивало достоверное увеличение количества бобов на одном растении на 6 штук в сравнении с необработанными.

Обработка растений сорта Георгия регулятором роста «Зеребра Агро» во всех вариантах опыта обеспечивала увеличение числа семян с одного растения на 5–10 штук в сравнении с контролем. Достоверно увеличивалась масса бобов с одного растения при обработке сои в норме 0,15 и 0,20 л/га.

Наименьший урожай семян сорта сои Георгия сформировался без обработки растений – 2,34 т/га.

Небольшую прибавку урожайности (5 %) получили в варианте с внесением регулятора роста в норме 0,10 л/га. Увеличение нормы внесения препарата до 0,15 л/га и 0,20 л/га обеспечивало повышение урожайности семян сои на 25,74 и 34,36 % соответственно.

Использование препарата «Зеребра Агро» в посевах сои сорта Георгия во всех изучаемых нормах обеспечивало увеличение урожайности семян на 0,12–0,80 т/га, но достоверной прибавка была только при норме 0,20 л/га.

Определение структуры урожая сорта Припять показало, что применение препарата во всех изучаемых нормах внесения существенно увеличивало число бобов на 3–6 штук, семян на 7–15 штук на одном растении. Такие показатели структуры, как масса бобов и масса семян с одного растения, масса 1000 семян, были также выше у растений, обработанных регулятором роста, однако математический анализ данных показал, что при норме внесения 0,20 л/га достоверно увеличивалась масса бобов и семян с одного растения, а при норме 0,15 л/га – масса семян с одного растения.

Наименьший урожай семян сорта Припять (2,94 т/га) сформировался в контроле без применения регулятора роста.

Обработка посевов сои с нормой 0,10 л/га обеспечивала формирование урожая семян 3,19 т/га, что на 8,31 % больше, чем в контроле. При увеличении нормы внесения препарата до 0,15 л/га наблюдалась прибавка к контролю 0,42 т/га (14,42 %), а при норме 0,20 л/га – 0,54 т/га (18,23 %).

Обработка растений сорта Припять регулятором роста «Зеребра Агро» с нормами 0,10, 0,15 и 0,20 л/га повышала урожайность семян на 0,24–0,54 т/га, однако такое повышение не является достоверным, т. е. можно говорить только о тенденции.

Урожайность семян сорта Припять выше, чем сорта Георгия, однако растения сорта Георгия более отзывчивы на обработки, чем сорта Припять.

Содержание белка и жира в семенах изучаемых сортов показывает, что обработки растений неоднородно влияют на показатели качества семян. Содержание белка в семенах сорта Георгия возрастало при увеличении нормы внесения на 0,1–1,3 %, а сорта Припять – на 0,9–1,5 %. Однако по содержанию жира в семенах такой четкой картины не прослеживалось.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Соя – широко известная во всем мире культура, ее производство постоянно увеличивается. Средняя урожайность в нашей стране остается относительно невысокой – 1,7 т/га. В интенсивной технологии возделывания культуры используются регуляторы роста растений. Правильно выбранные сроки и дозы их применения позволяют регулировать рост и развитие растений, снижать неблагоприятное действие метеорологических факторов, что приводит к повышению урожая семян и улучшению его качества.

В наших исследованиях использование регулятора роста «Зеребра Агро» на растениях сои сортов Георгия и Припять в различных дозах показало его положительное действие.

Обработка вегетирующих растений сорта Георгия с нормой внесения 0,10, 0,15 и 0,20 л/га обеспечивало увеличение высоты растений от 3,6 см до 6,3 см, площади листьев – от 7 до 16 %, сухой надземной массы – от 5 до 10 %, массы корней – от 6 до 12 %. Кроме того, использование регулятора роста с нормой 0,10 и 0,15 л/га обеспечивало достоверное повышение количества и сырой массы клубеньков; увеличение показателей структуры урожая и урожайности семян на 0,12–0,80 т/га.

Использование регулятора роста в посевах сои сорта Припять с нормами 0,10, 0,15 и 0,20 л/га обеспечивало повышение высоты растений от 2,7 см до 4,6 см, площади листьев – от 2 до 6 %, сухой надземной массы – от 3 до 6 %, подземной – от 3 до 7 %. Обработка вегетирующих растений регулятором роста с нормами 0,10 и 0,15 л/га способствовала достоверному увеличению количества и сырой массы клубеньков. Применение регулятора роста с различными нормами повышало урожайность семян на 0,24–0,54 т/га.

В ранее проведенных исследованиях с использованием регулятора роста «Зеребра Агро» в посевах сои скороспелых сортов Магева, Светлая, Касатка нами также отмечено увеличение урожайности семян – на 0,10–0,23 т/га [11].

Применение регулятора роста «Зеребра Агро» с нормой расхода 0,20 л/га у растений сортов Георгия и Припять приводило к достоверному уменьшению количества и сырой массы клубеньков на 2–3 %.

Применение регулятора роста «Зеребра Агро» с нормой расхода препарата 0,10, 0,15 и 0,20 л/га на растениях сорта Георгия обеспечивало повышение урожая семян на 0,12–0,80 т/га, а сорта Припять – на 0,24–0,54 т/га. Однако достоверная прибавка отмечается только при обработке растений сорта Георгия с нормой 0,20 л/га.

Показатели качества семян формируются в процессе роста и развития культуры и зависят от многих факторов, таких как сорт, метеорологические условия вегетации, тип почвы и др. В наших исследованиях обработка растений изучаемых сортов препаратом «Зеребра Агро» обеспечивала увеличение содержания белка в семенах на 0,1–1,5 %, а влияния на содержание в них жира не отмечалось.

Библиографический список

1. Ториков В. Е., Бельченко С. А., Дронов А. В., Моисеенко И. Я., Зайцева О. А. Соя северного экотипа в интенсивном земледелии. Брянск: Изд-во Брянского ГАУ, 2019. 284 с.
2. Макарова А. А., Пасько О. В., Состояние мирового производства растительного сырья как перспективного источника белка для аналоговой мясной продукции // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8. № 3. С. 12–20. DOI: 10.14529/food200302.
3. Бойко Е. Ю. Современное состояние рынка масличного сырья в России // Сборник материалов 11-й Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. Краснодар, 2021. С. 284–286. DOI: 10.25230/conf11-2021-284-286.
4. Чутчева Ю. В., Бельшклина М. Е., Дегтярева Е. Д. Семеноводство сои в Российской Федерации – текущее состояние и перспективы развития // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 1. С. 80–88. DOI: 10.32651/231-80.
5. Бельшклина М. Е., Гуреева Е. В. Сравнительный анализ биохимического состава сортов сои северного экотипа и оценка их пригодности для переработки // Аграрная Россия. 2020. № 01. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-1-35-39.
6. Бельшклина М. Е., Гуреева Е. В. Содержание и качество жира в семенах сои северного экотипа // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2020. № 21 (184). С. 15–23.
7. Савенков В. П. Условия минерального питания сои в плодосменном севообороте при различных приемах и системах основной обработки почвы в лесостепи ЦФО России // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1 (57). С. 64–69. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-1-64-69.
8. Сытников Д. М., Кучерик Г.В. Минеральное питание и симбиотическая азотфиксация сои // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны: сборник статей по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной 100-летию КубГАУ. Краснодар, 2022. С. 192–195.
9. Федотов В. А., Кадыров С. В., Щедрина Д. И., Столяров О. В., Подлесных Н. В. Растениеводство Центрального Черноземья России. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. 581 с.
10. Antala M., Sytar O., Rastogi A., Brestie M. Potential of karrikins as novel plant growth regulators in agriculture [e-resource] // Plants. 2019. Vol. 9. No. 1. URL: <https://www.mdpi.com/604692> (date of reference: 10.06.2023).
11. Khan N. Application of plant growth promoting microorganism and plant growth regulators in agricultural production and research // Agronomy. 2021. Vol. 11. No. 3. DOI: 10.3390/agronomy11030524.
12. Дядюченко Л. В., Дмитриева И. Г. Изучение рострегулирующей активности производных пиразолопиридинов на растениях сои // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: материалы V международной научно-практической конференции. Симферополь, 2020. С. 50–51. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-19.
13. Лукомец В. М., Тишков Н. М., Семеренко С. А. Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами. 3-е издание, переработанное и дополненное. Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2022. 538 с.
14. May A., Coelho L. F., Pedrenho A., Batista B. D., Mendes L. W., Mendes R. The use of indigenous bacterial community as inoculant for plant growth promotion in soybean cultivation // Archives of Agronomy and Soil Science. 2023. Vol. 69. No. 1. Pp. 135–150. DOI: 10.1080/03650340.2021.1964017.
15. Yuan K., Reckling M., Djedidi S. Characterization of rhizobia for the improvement of soybean cultivation at cold conditions in central Europe // Microbes and environments. 2020. Vol. 35. No. 1. DOI: 10.1264/jsme2.ME19124.
16. Федорова З. С., Шитикова А. В., Тевченков А. А. Влияние регулятора роста «Зеребра Агро» на формирование урожая сортов сои в условиях Калужской области // Кормопроизводство. 2020. № 1. С. 26–30.
17. Tilba V. A., Makhonin V. L., Zelentsov S. V. The effect of native strains of nodule bacteria on the development of symbiotic apparatus and on the productivity of new soybean cultivars // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, 2021. Vol. 650. Article number 012042. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012042.

18. Тильба В. А., Тишков Н. М., Махонин В. Л. [и др.] Влияние клубеньковых бактерий на формирование вегетативной массы сои и развитие симбиотического аппарата на черноземе выщелоченном // Масличные культуры. 2020. № 1 (181). С. 79–87. DOI: 10.25230/2412–608X–2020–1–181–79–87.

Об авторах:

Александр Андреевич Тевченков¹, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства сои, ORCID 0000-0003-3582-5558, AuthorID 1080260; +7 906 641-48-82

Зоя Степановна Федорова², кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ORCID 0000-0001-6939-1853, AuthorID 460230; +7 910 542-36-07

Евгений Игоревич Сеничев¹, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства сои, ORCID 0009-0001-3777-980X, AuthorID 1175606; +7 999 735-40-74

¹ Липецкий научно-исследовательский институт рапса – филиал Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», Липецк, Россия

² Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева», Калуга, Россия

References

1. Torikov V. E., Bel'chenko S. A., Dronov A. V., Moiseenko I. Ya., Zaytseva O. A. Soya severnogo ekotipa v intensivnom zemledelii: monografiya [Soybeans of the northern ecotype in intensive agriculture: monograph]. Bryansk: Izd-vo Bryanskogo GAU, 2019. 284 p. (In Russian.)

2. Makarova A. A., Pas'ko O. V. Sostoyanie mirovogo proizvodstva rastitel'nogo syr'ya kak perspektivnogo istochnika belka dlya analogovoy myasnoy produktsii [World production of plant materials as a promising source of protein for analogue products] // Bulletin of the South Ural State University. Seriya "Pishchevye i biotekhnologii". 2020. Vol. 8. No. 3. Pp. 12–20. DOI: 10.14529/food200302. (In Russian.)

3. Boyko E. Yu. Sovremennoe sostoyanie rynka maslichnogo syr'ya v Rossii [The current state of the oilseed raw materials market in Russia] // Sbornik materialov 11-y Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov. Krasnodar, 2021. Pp. 284–286. DOI: 10.25230/conf11-2021-284-286. (In Russian.)

4. Chutcheva Yu. V., Belyshkina M. E., Degtyareva E. D. Semenovodstvo soi v Rossiyskoy Federatsii – tekushchee sostoyanie i perspektivy razvitiya [Soybean seed production in the Russian Federation – the current state and development prospects] // Agricultural Economics in Russia. 2023. No. 1. Pp. 80–88. DOI: 10.32651/231-80. (In Russian.)

5. Belyshkina M. E., Gureeva E. V. Sravnitel'nyy analiz biokhimicheskogo sostava sortov soi severnogo ekotipa i otsenka ikh prigodnosti dlya pererabotki [Comparative analysis of the biochemical composition of soybean varieties of the northern ecotype and assessment of their suitability for processing] // Agrarian Russia. 2020. No. 01. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-1-35-39.

6. Belyshkina M. E., Gureeva E. V. Soderzhanie i kachestvo zhira v semenakh soi severnogo ekotipa [The content and quality of fat in the seeds of northern ecotype soybeans] // Taurida Scientific Herald. 2020. No. 21 (184). Pp. 15–23. (In Russian.)

7. Savenkov V. P. Usloviya mineral'nogo pitaniya soi v plodosmennom sevooborote pri razlichnykh priemakh i sistemakh osnovnoy obrabotki pochvy v lesostepi TsFO Rossii [The conditions of soybean mineral nutrition in crop rotations in case of different methods and systems of primary soil tillage in the forest-steppe of the center of Russia] // Vestnik Ul'yanskovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2022. No. 1 (57). Pp. 64–69. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-1-64-69. (In Russian.)

8. Sytnikov D. M., Kucherik G. V. Mineral'noe pitanie i simbioticheskaya azotfiksatsiya soi [Mineral Nutrition and symbiotic nitrogen fixation of soybean] // Okhrana okruzhayushchey sredy – osnova bezopasnosti strany: sbornik statey po materialam Mezhdunarodnoy nauchnoy ekologicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu Kub-GAU. Krasnodar, 2022. Pp. 192–195. (In Russian.)

9. Fedotov V. A., Kadyrov S. V., Shchedrina D. I., Stolyarov O. V., Podlesnykh N. V. Rasteniyevodstvo Tsentral'nogo Chernozem'ya Rossii [Plant growing in the Central Chernozem region of Russia]. Voronezh: Voronezhskiy GAU, 2019. 581 p. (In Russian.)

10. Antala M., Sytar O., Rastogi A., Brestie M. Potential of karrikins as novel plant growth regulators in agriculture [e-resource] // Plants. 2019. Vol. 9. No. 1. URL: <https://www.mdpi.com/604692> (date of reference: 10.06.2023).

11. Khan N. Application of plant growth promoting microorganism and plant growth regulators in agricultural production and research // Agronomy. 2021. Vol. 11. No. 3. DOI: 10.3390/agronomy11030524.

12. Dyadyuchenko L. V., Dmitrieva I. G. Izuchenie rostreguliruyushchey aktivnosti proizvodnykh pirazolopiridinov na rasteniyakh soi [Study of the growth-regulating activity of pyrazolopyridine derivatives on soybean plants] // Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya agrarnoy nauki: Materialy V mezhdunarod-

noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Simferopol', 2020. Pp. 50–51. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-19. (In Russian.)

13. Lukomets V. M., Tishkov N. M., Semerenko S. A. Metodika agrotekhnicheskikh issledovaniy v opytakh s osnovnymi polevymi kul'turami [Methods of agrotechnical research in experiments with the main field crops]. 3rd edition, revised and supplemented. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug, 2022. 538 p. (In Russian.)

14. May A., Coelho L. F., Pedrenho A., Batista B. D., Mendes L. W., Mendes R. The use of indigenous bacterial community as inoculant for plant growth promotion in soybean cultivation // Archives of Agronomy and Soil Science. 2023. Vol. 69. No. 1. Pp. 135–150. DOI: 10.1080/03650340.2021.1964017.

15. Yuan K., Reckling M., Djedidi S. Characterization of rhizobia for the improvement of soybean cultivation at cold conditions in central Europe // Microbes and environments. 2020. Vol. 35. No. 1. DOI: 10.1264/jsme2.ME19124.

16. Fedorova Z. S., Shitikova A. V., Tevchenkov A. A. Vliyanie regulatora rosta “Zerebra Agro” na formirovanie urozhaya sortov soi v usloviyakh Kaluzhskoy oblasti [Influence of Zerebra Agro growth regulator on soybean varieties yield formation in the conditions of the Kaluga region] // Fodder production. 2020. No. 1. Pp. 26–30. (In Russian.)

17. Tilba V. A., Makhonin V. L., Zelentsov S. V. The effect of native strains of nodule bacteria on the development of symbiotic apparatus and on the productivity of new soybean cultivars // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, 2021. Vol. 650. Article number 012042. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012042.

18. Til'ba V. A., Tishkov N. M., Makhonin V. L. et al. Vliyanie kluben'kovykh bakteriy na formirovanie vegetativnoy massy soi i razvitie simbioticheskogo apparata na chernozeme vyshchelochennom [Influence of nodule bacteria on formation of vegetative biomass of soybean and development of symbiotic apparatus on leached black soil] // Oil crops. 2020. No. 1 (181). Pp. 79–87. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-79-87. (In Russian.)

Authors' information:

Aleksandr A. Tevchenkov¹, junior research associate of soybean and primary seed breeding laboratory, ORCID 0000-0003-3582-5558, AuthorID 1080260; +7 906 641-48-82

Zoya S. Fedorova², candidate of agricultural sciences, associate professor, ORCID 0000-0001-6939-1853, AuthorID 460230; +7 910 542-36-07

Evgeniy I. Senichev¹, junior research associate of soybean and primary seed breeding laboratory, ORCID 0009-0001-3777-980X, AuthorID 1175606; +7 999 735-40-74

¹ Lipetsk Rapeseed Research Institute – the branch of the Federal Scientific Center “V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil crops”, Lipetsk, Russia

² Kaluga branch of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Kaluga, Russia

Влияние севооборотов на плодородие выщелоченных черноземов Южного Урала

Л. П. Шаталина, Ю. Б. Анисимов, Ю. С. Мошкина

Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Тимирязевский, Россия

E-mail: lubashatalina@mail.ru

Аннотация. Целью исследований было установить степень влияния севооборотов и фонов минерального питания на плодородие чернозема выщелоченного. Проведена сравнительная оценка основных элементов питания гумуса, азота легкогидролизуемого, подвижного фосфора растений в динамике в условиях северной лесостепи Челябинской области, в различных севооборотах на двух фонах удобренности Р и NP. **Методы.** Исследования проводили в длительном полевом опыте на территории землепользования ФГБНУ «Челябинский НИИСХ» с 1998 по 2021 г. В почвенных образцах определялись гумус, азот общий и легкогидролизуемый по методике И. В. Тюрина и М. М. Кононовой в модификации В. Н. Кудеярова, подвижного фосфора по Ф. В. Чирикову. **Результаты.** По результатам наших исследований было установлено, что в среднем за 1998–2021 гг. наблюдений содержание гумуса за счет фактора севооборот изменялось на 0,2 %, по фонам удобренности – на 0,8 %. Содержание азота общего по годам исследований увеличивалось по всем вариантам севооборотов от 20 до 55 % независимо от фонов удобренности. В результате проведенных исследований установлено, что содержание азота легкогидролизуемого существенно зависит от фона минерального питания и условий года, в среднем за 1998–2021 гг. снижение азота легкогидролизуемого составило 17–22 %. В среднем по вариантам опыта за 1998–2021 гг. процесс усваивания подвижного фосфора на фоне NP идет интенсивнее на 8 %. Сильная корреляционная зависимость установлена между продуктивностью севооборотов и азотом общим на фоне Р в 1998 и 2013 гг., азота легкогидролизуемого – в 1998 и 2021 гг., подвижным фосфором – за все годы исследований. **Научная новизна.** Мониторинг оценки состояния плодородия почвы позволяет контролировать, а также диагностировать степень антропогенного воздействия, вносить соответствующие корректировки для обеспечения высокой продуктивности севооборотов в условиях изменяющегося климата.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, гумус, азот общий, азот легкогидролизуемый, подвижный фосфор, минеральные удобрения, севооборот.

Для цитирования: Шаталина Л. П., Анисимов Ю. Б., Мошкина Ю. С. Влияние севооборотов на плодородие выщелоченных черноземов Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-32-45.

Дата поступления статьи: 08.06.2023, **дата рецензирования:** 19.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

The influence of crop rotations on the fertility of leached chernozems of the Southern Urals

L. P. Shatalina, Yu. P. Anisimov, Yu. S. Moshkina

Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy, Russia

E-mail: lubashatalina@mail.ru

Abstract. The purpose of the research was to establish the degree of influence of crop rotations and mineral nutrition backgrounds on the fertility of leached chernozem. A comparative assessment of the main nutrition elements of humus, nitrogen of easily hydrolyzable, mobile phosphorus of plants in dynamics in the conditions of the northern forest-steppe of the Chelyabinsk region, in various crop rotations on two fertilization backgrounds P and NP was carried out. **Methods.** The research was carried out in a long-term field experiment on the land-use territory

of the Chelyabinsk Research Institute from 1998 to 2021. Humus, total nitrogen and easily hydrolyzable nitrogen were determined in soil samples according to the method of I. V. Tyurin and M. M. Kononova in the modification of V. N. Kudryarov, mobile phosphorus according to F. V. Chirikov. **Results.** According to the results of our research, it was found that, on average, over the years of observations 1998–2021, the humus content due to the crop rotation factor changed by 0.2 %, according to the fertilization backgrounds by 0.8 %. The nitrogen content of the total over the years of research increased in all crop rotation options from 20 to 55 %, regardless of the background fertilization. As a result of the conducted studies, it was found that the nitrogen content of the easily hydrolyzed significantly depends on the background of mineral nutrition and the conditions of the year, on average for 1998–2021, the decrease in nitrogen of the easily hydrolyzed was 17–22 %. On average, according to the variants of the experiment for 1998–2021, the process of assimilation of liquid phosphorus against the background of NP is more intensive by 8 %. A strong correlation was established between the productivity of crop rotations and total nitrogen against the background of P in 1998 and 2013, nitrogen easily hydrolyzed in 1998 and 2021, mobile phosphorus for all the years of research. **The scientific novelty.** Monitoring of the assessment of the state of soil fertility makes it possible to monitor, as well as diagnose the degree of anthropogenic impact, make appropriate adjustments to ensure high productivity of crop rotations in a changing climate.

Keywords: leached chernozem, humus, total nitrogen, easily hydrolyzable nitrogen, mobile phosphorus, mineral fertilizers, crop rotation.

For citation: Shatalina L. P., Anisimov Yu. P., Moshkina Yu. S. Vliyaniye sevooborotov na plodorodiye vyshchelochnykh chernozemov Yuzhnogo Urala [The influence of crop rotations on the fertility of leached chernozems of the Southern Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol.24, No. 01. Pp. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-32-45. (In Russian.)

Date of paper submission: 08.06.2023, **date of review:** 19.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В процессе использования земель сельскохозяйственного назначения почва подвергается агрогенному воздействию. Его результатом является не только интенсивность использования пашни, но и масштабность проводимых агротехнических мероприятий. Верхние горизонты, а также почвенный покров от механического и химического воздействия деградируют, нарушаются балансы поступления органических и минеральных веществ и микробиологическая активность почвы. Происходит деградация основного свойства почвы плодородия. Как отмечают многие ученые, на плодородие почв влияет много факторов, основные – количество свежего органического вещества, которое поступает в почву с удобрениями и растительными остатками сельскохозяйственных культур, и скорость его минерализации [1; 2].

Данные почвенного мониторинга плодородия внутри структуры полей позволяют выполнять качественную разработку проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия [3; 4]. Плодородие почв и продуктивность агроценозов регулируются всеми средствами адаптивно-ландшафтных систем земледелия, при этом остается актуальным вопрос сохранения и воспроизводства почвенного плодородия [5]. В Госпрограмме развития сельского хозяйства до 2030 г. стоит цель – повышение эффективности использования земельных ресурсов, регулирования плодородия почв до оптимального уровня в каждой конкретной зоне, так как обеспечивает интенсификацию земледелия и рост урожайности

сельскохозяйственных культур [6]. Неоднородность почвенного покрова и изменения окружающей среды требуют корректировки мероприятий по сохранению и регулированию состояния почвенного плодородия. Рациональная система удобрения направлена на сохранение и воспроизводство почвенного плодородия, иначе происходит постепенное истощение почвы, нарушается баланс питательных элементов в системе «почва – растение – удобрение» [7]. Продуктивность сельскохозяйственных культур в основном лимитируется питанием растений, и азот как важнейший элемент в составе гумусовых веществ определяет плодородие черноземов и зависит от варибельности факторов среды, вносимых форм и доз удобрений, севооборота и способа обработки [8–10]. Изменение условий обитания растений (обработка почвы, применение средств химизации) может вызывать депрессию почвообразовательного процесса на отдельных его этапах, а значит, и ухудшение плодородия почвы [11]. Определение количественной характеристики выделительной функции корневых систем позволило сделать предположение о том, что корневые выделения растений не в меньшей степени, чем растительные остатки, могут принимать участие в формировании почвенного плодородия [22]. В исследованиях, проведенных за рубежом, были изучены основные биохимические реакции, происходящие в растениях и азотфиксирующих микроорганизмах [21]. Внесение органических веществ (ОВ) и механической энергии влияют на почвенную систему с образованием простых минеральных соединений, а другая часть

изменяется, переходит в более устойчивую форму органического вещества почвы – гумус [19; 20]. Исследования в длительных стационарных опытах позволяют выявить направленность изменения плодородия почв под влиянием систематического применения удобрений и проектировать севообороты в соответствии с экологическими принципами, нацеленными не только на увеличение продуктивности, но и на реализацию их влияния на плодородие почвы [12–14].

Цель исследования – установить степень влияния севооборотов, минеральных удобрений и условий окружающей среды на основные показатели почвенного плодородия.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектом исследования был верхний горизонт почвы чернозема выщелоченного Южного Урала. Почва под опытным участком имеет слабокислую и нейтральную реакцию почвенной среды (рН = 5,1...7,0), слабую обеспеченность подвижным фосфором (4,5 мг / 100 г почвы); содержание

гумуса – 6–6,5 %; сумма поглощенных оснований – 28–30 мг-экв / 100 г почвы; обеспеченность обменным калием более 80 мг/кг, гранулометрический состав тяжелосуглинистый.

Исследования проводили в длительном стационарном полевом опыте по теме, входящей в госзадание «Изучить эффективность ресурсного потенциала пахотных земель и сельскохозяйственных культур на основе оптимизации полевых севооборотов» на территории землепользования ФГБНУ «Челябинский НИИСХ» с 1998 по 2021 год.

Схема опыта реализована на двух фонах минерального питания: фон Р и фон NP:

- 1) зернопаровой четырехпольный севооборот: фон Р-Р₂₂ и фон NP-N₃₀Р₂₂;
- 2) зернопаротравяной десятипольный севооборот: фон Р-Р₂₇ и фон NP-N₃₆Р₂₇;
- 3) зерновой двухпольный севооборот: фон Р-Р₃₀ и фон NP-N₈₀Р₃₀;
- 4) пшеница бессменно: фон Р-Р₃₀ и фон NP-N₈₀Р₃₀.

Динамика содержания гумуса в слое почвы 0–20 см чернозема выщелоченного по вариантам опыта, %

Вариант севооборота (фактор А)	Фон минерального питания (фактор В)	Год (фактор С)				Среднее	Различия по А
		1998	2008	2013	2021		
1. Зернопаровой	Р	5,8	6,4	6,1	5,5	6,2	Контроль
	NP	6,0	5,8	6,5	7,5		
2. Зернопаротравяной	Р	5,6	6,3	5,6	6,7	6,4	0,2
	NP	5,8	6,9	6,9	7,0		
3. Зерновой	Р	6,2	6,5	5,8	6,9	6,3	0,1
	NP	6,5	5,7	6,2	6,6		
4. Яровая пшеница бессменно (контроль)	Р	5,8	4,7	6,6	6,6	6,0	–0,2
	NP	6,4	4,3	6,6	6,9		
Средние по С		6,0	5,8	6,3	6,8		
Различия по С		Контроль	–0,2	0,3	0,8		

HCP_{0,5}A = 0,498 не сущ.; HCP_{0,5}B = 0,352 не сущ.; HCP_{0,5}C = 0,498; HCP_{0,5}AB = 0,705; HCP_{0,5}AC = 0,996; HCP_{0,5}BC = 0,705

Dynamics of humus content in the soil layer 0–20 cm of leached chernozem according to the variants of the experiment, %

Crop rotation option (factor A)	Background of mineral nutrition (factor B)	Years (factor C)				Average	Differences by A
		1998	2008	2013	2021		
1. Grain-steam	P	5.8	6.4	6.1	5.5	6.2	Control
	NP	6.0	5.8	6.5	7.5		
2. Grain-and-grass	P	5.6	6.3	5.6	6.7	6.4	0.2
	NP	5.8	6.9	6.9	7.0		
3. Grain	P	6.2	6.5	5.8	6.9	6.3	0.1
	NP	6.5	5.7	6.2	6.6		
4. Spring wheat permanently (control)	P	5.8	4.7	6.6	6.6	6.0	–0.2
	NP	6.4	4.3	6.6	6.9		
Average by C		6.0	5.8	6.3	6.8		
The differences by C		Control	–0.2	0.3	0.8		

LCD_{0,5}A = 0.498 insignificant; LCD_{0,5}B = 0.352 insignificant; LCD_{0,5}C = 0.498; LCD_{0,5}AB = 0.705 insignificant; LCD_{0,5}AC = 0.996 insignificant; LCD_{0,5}BC = 0.705

С 2011 года фон Р – без удобрений. Схема опыта включала различные варианты севооборотов:

- 1) зернопаровой четырехпольный севооборот: пар – озимая рожь – горох – пшеница ;
- 2) зернопаротравяной десятипольный севооборот: пар – озимая рожь – горох – пшеница – ячмень – люцерна – люцерна 2 года – люцерна 3 года – пшеница – пшеница;
- 3) зерновой двухпольный севооборот: овес – пшеница;
- 4) яровая пшеница бессменно.

Агротехника в опыте основана на отвальной обработке почвы [15], общепринятая для лесостепных агроландшафтов Челябинской области и прямого посева с 2014 года по нулевой технологии, для экологизации земледелия академик Кирюшин В. И. указывает, что значительный приоритет имеет развитие минимизации обработки почвы.

Анализы по определению гумуса, азота общего и легкогидролизуемого выполнялись по методике И. В. Тюрина и М. М. Кононовой в модификации В. Н. Кудярова; подвижного фосфора – по методике Ф. В. Чирикова.

Для математической обработки данных использовалась компьютерная программа статистической обработки данных Snedecor.

Результаты (Results)

Исследования проводились на почвах чернозема выщелоченного, они представляют 30,2 % общей площади пахотных земель Челябинской области. Для этих почв характерно высокое потенциальное плодородие, так как преобладают зрелые гуминовые кислоты [16; 17].

В процессе исследований наблюдения за динамикой изменения почвенного плодородия проводились за основными элементами питания растений: азот легкогидролизуемый, азот общий, фосфор подвижный, гумус. По результатам исследований за 1998–2021 годы было установлено, что существенные изменения содержания гумуса наблюдались от изменений среды (условий года) (таблица 1).

В зернопаровом севообороте на фоне минерального питания Р характер изменений волнообразный: в 2008 году повышение содержания гумуса на 10 %, в 2013 и в 2021 году – снижение на 5 %. На фоне минерального питания NP изменения содержания гумуса по сравнению с исходным в 2008 году уменьшилось на 3 %, в 2013 и 2021 годах увеличилось соответственно на 8 и 25 %.

Увеличение содержания гумуса на фоне минерального питания Р в зернопаротравяном севообороте по сравнению с исходным за весь период исследований (1998–2021 годы) составило 20 %, на фоне NP – 21 %. Содержание гумуса на фоне минерального питания Р более подвержено изменениям от условий года по сравнению с удобрённым фоном. Так, в 2008 и 2021 годах соответственно

увеличилось на 12 % и 20 %, в 2013 году снизилось на 12 %. На фоне минерального питания NP с 2008 по 2021 год изменение содержания гумуса в зернопаротравяном севообороте оставалось стабильным.

В зерновом севообороте на фоне минерального питания Р содержание гумуса по сравнению с исходным увеличилось на 11 %. В частности, в 2008 и 2021 годах увеличение на 5 и 11 % соответственно. На фоне минерального питания NP в 2008 и 2013 годах произошло снижение содержания гумуса на 12 % и на 5 % соответственно, в 2021 году – увеличение на 1 %.

При бессменном возделывании яровой пшеницы содержание гумуса существенно изменялось от метеоусловий с 1998 по 2008 год. На фоне минерального питания Р отмечено снижение содержания гумуса на 19 %, затем увеличение с 2013 по 2021 год на 14 %. В 2008 году на фоне NP отмечено снижение содержания гумуса на 33 %, в 2013 и 2021 годах – тенденция увеличения на 3 и 8 % соответственно. Потери гумуса обусловлены усилением минерализации гумуса и растительных остатков, а также его миграции по слоям почвы.

Условия лет отбора почвенных проб были различными: 1998 и 2021 годы – засушливые (ГТК = 0,7), сумма положительных температур (S) составила 2584 °С и 2679 °С соответственно, осадки за вегетационный период составили соответственно 184 и 189 мм; 2008 год – обеспеченно-влажный, ГТК = 1,5, S = 2427 °С осадки за вегетационный период составили 347 мм; 2013 год – избыточно увлажненный (ГТК = 1,8), S = 2729 °С, осадки за вегетационный период составили 375 мм. Поэтому разложение растительных остатков идет с различной скоростью в зависимости от микробиологической активности почв. В теплый влажный период микробиологическая активность почв высокая.

В среднем за годы наблюдений (1998–2021) содержание гумуса в севооборотах изменялось на 0,2 %, по фонам удобрённости – на 0,8 % (рис. 1).

На фоне NP содержания гумуса уменьшилось на 0,5 % по сравнению с исходным, на фоне Р – на 0,1 %. Изменчивость содержания гумуса незначительная в зернопаровом, зерновом севооборотах, при бессменном возделывании яровой пшеницы коэффициент вариации (V) составил 4–10 %, в зернопаротравяном севообороте средний V = 14...19 %. Коэффициент вариации по фонам удобрённости увеличивался в зернопаротравяном севообороте и зернопаротравяном на 1–5 %, в зерновом севообороте и при бессменной культуре яровой пшеницы, наоборот, уменьшался на 3–5 %.

В повышении урожайности культур одним из источников питания растений и повышения качества растениеводческой продукции служит использование азота. Азот как основной источник питания представлен в виде минеральных соединений, из

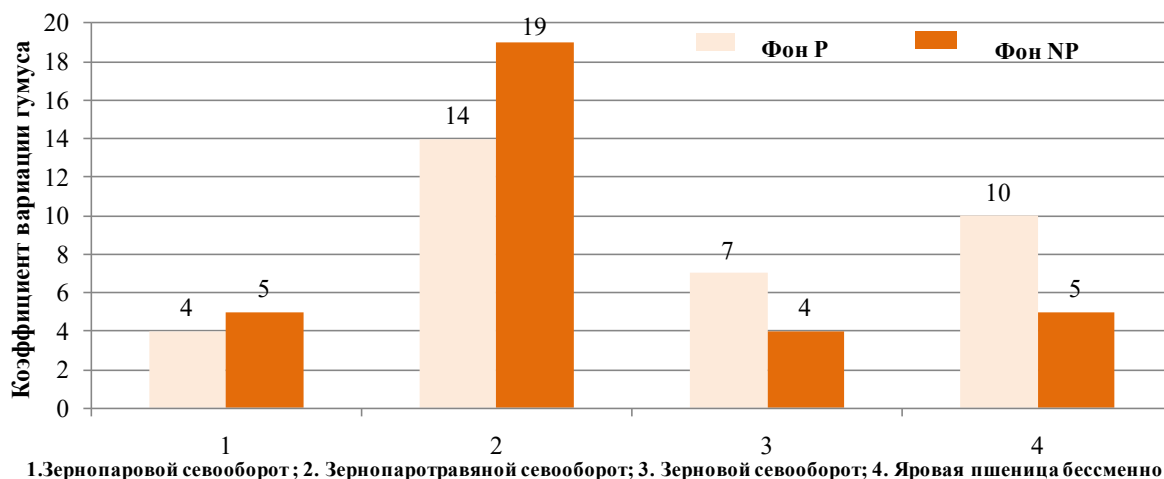


Рис. 1. Коэффициенты вариации гумуса почвы в среднем за 1998–2021 гг.



Fig. 1. Coefficients of variation of soil humus on average for 1998–2021

них 1–7 % составляет общий азот, по его минеральным соединениям судят об эффективном плодородии почв. По результатам наших исследований на содержание азота общего существенное влияние оказывают два фактора: тип севооборота и время (таблица 2).

Установлено, что содержание азота общего по годам исследований увеличивалось по всем вариантам севооборотов от 20 до 37 % в 2008 году, за исключением варианта бессеменной культуры, в 2013 году – от 18 до 46 %, в 2021 году – от 33 до 55 % независимо от фонов удобрений.

Содержание азота общего в среднем по зерновому севообороту и бессеменной культуре яровой пшеницы уменьшилось на 7 % и на 9 % соответственно по сравнению с зернопаровым севооборотом. В зернопаротравяном севообороте, наоборот, отмечено увеличение на 2 %. В зависимости от фонов удобрений отмечена тенденция к увеличению содержания азота общего на фоне NP на 3 %. От фактора времени (год исследований) содержание азота общего в 2008 году увеличилось на 18 %, в 2013 году – на 34 %, в 2021 году – на 44 %. Минераль-

ные соединения азота легко трансформируются под воздействием погодных условий по годам исследований за счет поступлений биологического азота предшественников в севооборотах и внесенных минеральных удобрений. Коэффициент вариации показал значительную изменчивость содержания азота общего в зернопаротравяном севообороте, фон удобрений NP увеличивал на 2 % (рис. 2).

Минерализация усиливалась в этом варианте севооборота за счет интенсивности использования пашни и реакции культур на условия окружающей среды. Для регулирования азотного режима почв оптимизация минерального питания позиционируется на использовании минеральных удобрений и биологического азота за счет агротехнических приемов. Большая часть этих питательных веществ находится в недоступной культурным растениям форме, а небольшая доступная их часть расходуется быстрее, чем пополняется из «основного резерва» [18]. Объективную оценку состояния азотного режима почвы дает содержание азота легкогидролизуемого как одного из основных доступных элементов питания для растений (таблица 3).

Таблица 2

Динамика азота общего в слое почвы 0–20 см чернозема выщелоченного по вариантам опыта, %

Вариант севооборота (фактор А)	Фон минерального питания (фактор В)	Год (фактор С)				Среднее	Различия по А
		1998	2008	2013	2021		
1. Зернопаровой	Р	0,239	0,325	0,325	0,325	0,306	Контроль
	NP	0,239	0,300	0,350	0,342		
2. Зернопаротравяной	Р	0,250	0,300	0,325	0,333	0,312	0,006
	NP	0,237	0,325	0,375	0,350		
3. Зерновой	Р	0,233	0,300	0,275	0,317	0,285	–0,021*
	NP	0,244	0,250	0,300	0,358		
4. Яровая пшеница бес- сменно (контроль)	Р	0,233	0,225	0,300	0,342	0,278	–0,028*
	NP	0,231	0,225	0,310	0,358		
Средние по С		0,238	0,281	0,320	0,341	0,295	
Различия по С		контроль	0,04*	0,08*	0,10*		

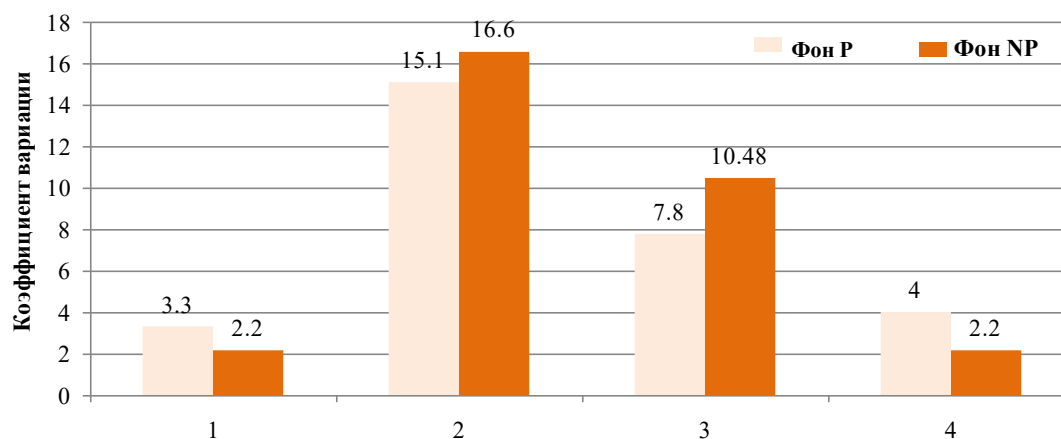
$HCP_{0,5}A = 0,017$; $HCP_{0,5}B = 0,012$ не сущ.; $HCP_{0,5}C = 0,017$; $HCP_{0,5}AB = 0,024$ не сущ.; $HCP_{0,5}AC = 0,034$; $HCP_{0,5}BC = 0,024$

Table 2

Dynamics of total nitrogen in the soil layer 0–20 cm of leached chernozem according to the variants of the experiment, %

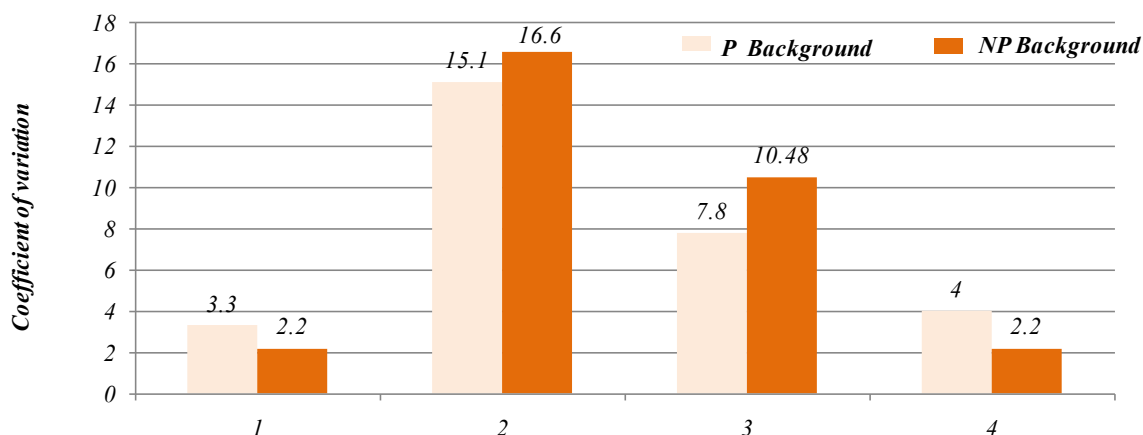
Crop rotation option (factor A)	Background of mineral nutrition (factor B)	Years (factor C)				Average	Differences by A
		1998	2008	2013	2021		
1. Grain-steam	P	0.239	0.325	0.325	0.325	0.306	Control
	NP	0.239	0.300	0.350	0.342		
2. Grain-and-grass	P	0.250	0.300	0.325	0.333	0.312	0.006
	NP	0.237	0.325	0.375	0.350		
3. Grain	P	0.233	0.300	0.275	0.317	0.285	–0.021*
	NP	0.244	0.250	0.300	0.358		
4. Spring wheat permanently (control)	P	0.233	0.225	0.300	0.342	0.278	–0.028*
	NP	0.231	0.225	0.310	0.358		
Average by C		0,238	0,281	0,320	0,341	0,295	
The differences by C		Control	0.04*	0.08*	0.10*		

$LCD_{0,5}A = 0.017$; $LCD_{0,5}B = 0.012$ insignificant; $LCD_{0,5}C = 0.017$; $LCD_{0,5}AB = 0.024$ insignificant; $LCD_{0,5}AC = 0.034$; $LCD_{0,5}BC = 0.024$



1. Зернопаровой севооборот 2. Зернопаротравяной севооборот 3. Зерновой севооборот 4. Яровая пшеница бессменно

Рис. 2. Коэффициент вариации содержания азота общего в слое почвы 0–20 см за 1998–2021 гг.



1. Grain-steam crop rotation 2. Grain-grass crop rotation 3. Grain crop rotation 4. Spring wheat permanently

Fig. 2. Coefficient of variation of the total nitrogen content in the 0–20 cm soil layer for 1998–2021

Таблица 3
Динамика азота легкогидролизуемого в слое почвы 0–20 см чернозема выщелоченного по вариантам опыта, мг/кг

Вариант севооборота (фактор А)	Фон минерального питания (фактор В)	Год (фактор С)				Среднее	Различия по А
		1998	2008	2013	2021		
1. Зернопаровой	P	92	63	84	65	82	Контроль
	NP	93	70	102	85		
2. Зернопаротравяной	P	89	78	77	57	80	–2
	NP	90	70	102	80		
3. Зерновой	P	91	70	72	74	80	–2
	NP	92	72	96	76		
4. Яровая пшеница бессеменно (контроль)	P	91	68	106	79	86	4
	NP	91	65	110	78		
Средние по С		91	69	94	74		
Различия по С		Контроль	–22	3	–17		

$HCP_{0,5}A = 6,2$ не сущ.; $HCP_{0,5}B = 4,4$; $HCP_{0,5}C = 6,2$; $HCP_{0,5}AB = 8,8$; $HCP_{0,5}AC = 12,4$; $HCP_{0,5}BC = 8,8$

Table 3
Dynamics of nitrogen in the easily hydrolyzed soil layer 0–20 cm of leached chernozem according to the experimental variants, mg/kg

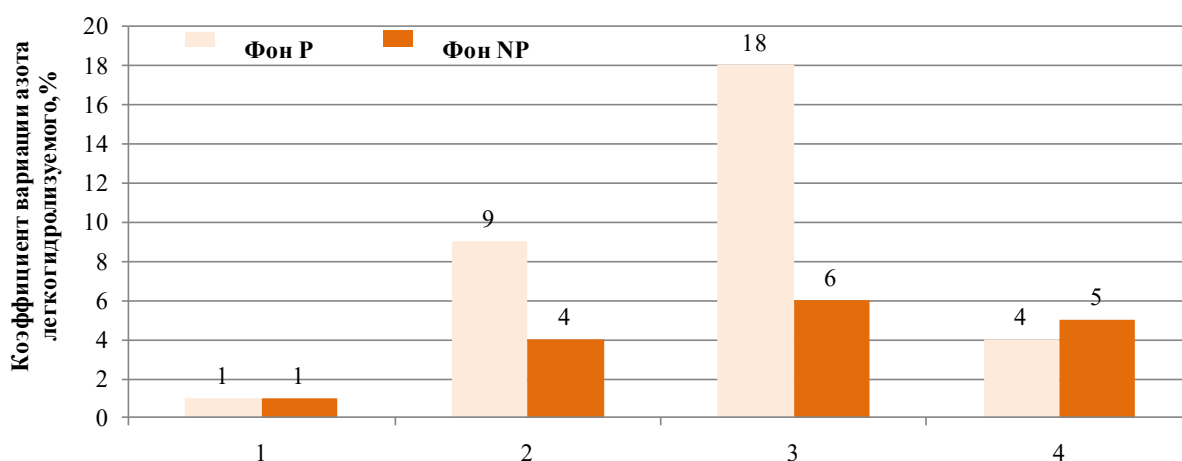
Crop rotation option (factor A)	Background of mineral nutrition (factor B)	Years (factor C)				Average	Differences by A
		1998	2008	2013	2021		
1. Grain-steam	P	92	63	84	65	82	Control
	NP	93	70	102	85		
2. Grain-and-grass	P	89	78	77	57	80	–2
	NP	90	70	102	80		
3. Grain	P	91	70	72	74	80	–2
	NP	92	72	96	76		
4. Spring wheat permanently (control)	P	91	68	106	79	86	4
	NP	91	65	110	78		
Average by C		91	69	94	74		
The differences by C		Control	–22	3	–17		

$LCD_{0,5}A = 6.2$ insignificant; $LCD_{0,5}B = 4.4$; $LCD_{0,5}C = 6.2$; $LCD_{0,5}AB = 8.8$ insignificant; $LCD_{0,5}AC = 12.4$ insignificant; $LCD_{0,5}BC = 8.8$

В результате проведенных исследований установлено, что содержание азота легкогидролизуемого существенно зависит от фона минерального питания и условий года. Содержание азота легкогидролизуемого в зернопаровом севообороте на фоне Р снизилось по сравнению с исходным на 29 %, на фоне NP – на 9 %. В зернопаротравяном севообороте содержание азота легкогидролизуемого уменьшилось по сравнению с исходным на фоне Р на 36 %, на фоне NP – на 11 %. Содержание азота легкогидролизуемого в зерновом севообороте уменьшилось на фоне Р на 19 %, на фоне NP – на 17 %. При бессменном возделывании яровой пшеницы содержание азота легкогидролизуемого уменьшилось на фоне Р на 13 %, на фоне NP – на 14 %. Снижение азота легкогидролизуемого по сравнению с исходным связано с накоплением органического вещества за счет пожнивно-корневых остатков и замедлению процессов минерализации. В среднем за 1998–2021 годы установлено сниже-

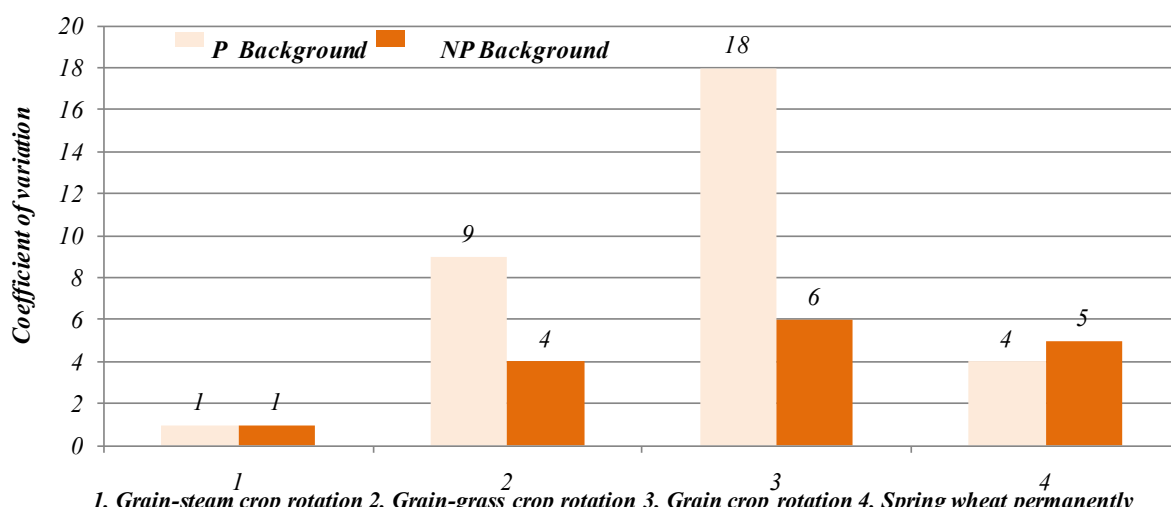
ние азота легкогидролизуемого на 17–22 %. На фоне минерального питания NP в среднем по севооборотах установлено увеличение азота легкогидролизуемого на 7 мг/кг. Изменения по вариантам севооборотов содержания азота легкогидролизуемого составили 5 мг/кг, что находится в пределах ошибки опыта. Коэффициент вариации (V) азота легкогидролизуемого по севооборотам в среднем за 1998–2021 годы был незначительным (меньше 10 %), особенно в зернопаровом севообороте (рис. 3).

Значительные изменения азота легкогидролизуемого произошли в зерновом севообороте на фоне Р ($V = 18 %$), на фоне NP они составили 6 %. Более стабильным по изменениям азота легкогидролизуемого был зернопаровой севооборот независимо от фонов удобрённости. В зернопаротравяном севообороте изменчивость на фоне NP была на 5 % меньше, в зерновом севообороте – на 12 %. Это обусловлено меньшей устойчивостью севооборотов к изменению условий окружающей среды.



1. Зернопаровой севооборот 2. Зернопаротравяной севооборот 3. Зерновой севооборот 4. Яровая пшеница бессменно

Рис. 3. Коэффициенты вариации азота легкогидролизуемого в слое почвы 0–20 см в среднем за 1998–2021 гг.



1. Grain-steam crop rotation 2. Grain-grass crop rotation 3. Grain crop rotation 4. Spring wheat permanently

Fig. 3. Coefficients of variation of nitrogen easily hydrolyzed in the 0–20 cm soil layer on average for 1998–2021

Таблица 4

Динамика фосфора подвижного в слое почвы 0–20 см чернозема выщелоченного по вариантам опыта, мг/кг

Вариант севооборота (фактор А)	Фон минерального питания (фактор В)	Год (фактор С)				Среднее	Различия по А
		1998	2008	2013	2021		
1. Зернопаровой	P	101	100	119	93	103	Контроль
	NP	92	94	120	103		
2. Зернопаротравяной	P	91	95	110	64	87	-16
	NP	88	94	94	58		
3. Зерновой	P	104	119	120	113	106	3
	NP	101	105	96	91		
4. Яровая пшеница бессменно (контроль)	P	106	106	111	113	105	2
	NP	103	94	108	100		
Средние по С		98	101	110	92		
Различия по С		Контроль	3	12	-6		
$HCP_{0,5}A = 6,7$; $HCP_{0,5}B = 4,8$; $HCP_{0,5}C = 6,7$; $HCP_{0,5}AB = 9,5$ не сущ.; $HCP_{0,5}AC = 13,5$; $HCP_{0,5}BC = 9,5$ не сущ.							

Table 4

Dynamics of mobile phosphorus in the soil layer of 0–20 cm leached chernozem according to the experimental variants, mg/kg

Crop rotation option (factor A)	Background of mineral nutrition (factor B)	Years (factor C)				Average	Differences by A
		1998	2008	2013	2021		
1. Grain- steam	P	101	100	119	93	103	Control
	NP	92	94	120	103		
2. Grain-and-grass	P	91	95	110	64	87	-16
	NP	88	94	94	58		
3. Grain	P	104	119	120	113	106	3
	NP	101	105	96	91		
4. Spring wheat permanently(control)	P	106	106	111	113	105	2
	NP	103	94	108	100		
Average by C		98	101	110	92		
The differences by C		Control	3	12	5		
$LCD_{0,5}A = 6.7$; $LCD_{0,5}B = 4.8$; $LCD_{0,5}C = 6.7$; $LCD_{0,5}AB = 9.5$ insignificant; $LCD_{0,5}AC = 13.5$; $LCD_{0,5}BC = 9.5$ insignificant							

Кроме азота, большое участие в питании растений принимает и фосфор. Как известно, он в виде фосфорной кислоты играет большую роль для живых клеток. Особенно необходим он для синтеза органических фосфорсодержащих соединений. Контроль и регулирование содержания минеральных солей фосфорной кислоты актуализируют процесс протекания синтеза органических фосфорсодержащих соединений. Избыток фосфора может привести к увеличению содержания минеральных фосфатов.

В результате проведенных многолетних исследований установлено, что содержание подвижного фосфора существенно зависит от варианта севооборота, фона удобрения и времени. Содержание подвижного фосфора в варианте зернопаротравяного севооборота в среднем за 1998–2021 годы было выше по сравнению с зернопаровым севооборотом на 16 % (таблица 4).

С 1998 года содержание подвижного фосфора увеличилось в среднем по вариантам опыта в 2013 на 12 %, к 2021 году – на 6 %. В среднем по вариантам опыта содержание подвижного фосфора на фоне минерального питания P отмечено на 8 % выше, чем на фоне NP. Это связано с вариабельностью факторов внешней среды и выносом фосфора с урожаем сельскохозяйственных культур. Значительные изменения содержания подвижного фосфора в среднем за 1998–2021 годы отмечены при бессменном возделывании яровой пшеницы при коэффициенте вариации $V = 23...24\%$ (рис. 4).

Устойчивость к изменениям содержания подвижного фосфора проявили варианты севооборотов зернопаровой, зернопаротравяной и зерновой, у которых вариабельность по годам была незначительной. По фонам удобрения в среднем за 1998–2021 годы вариабельность увеличилась на 5 % в зерновом севообороте, в других вариантах севооборотов она была незначительной.

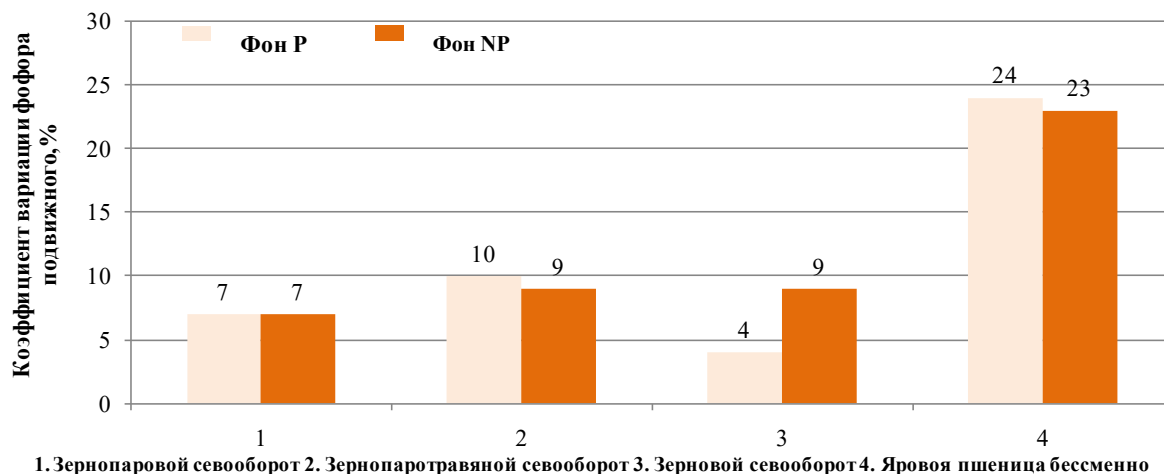


Рис. 4. Коэффициенты вариации фосфора подвижного в слое почвы 0–20 см в среднем за 1998–2021 гг.

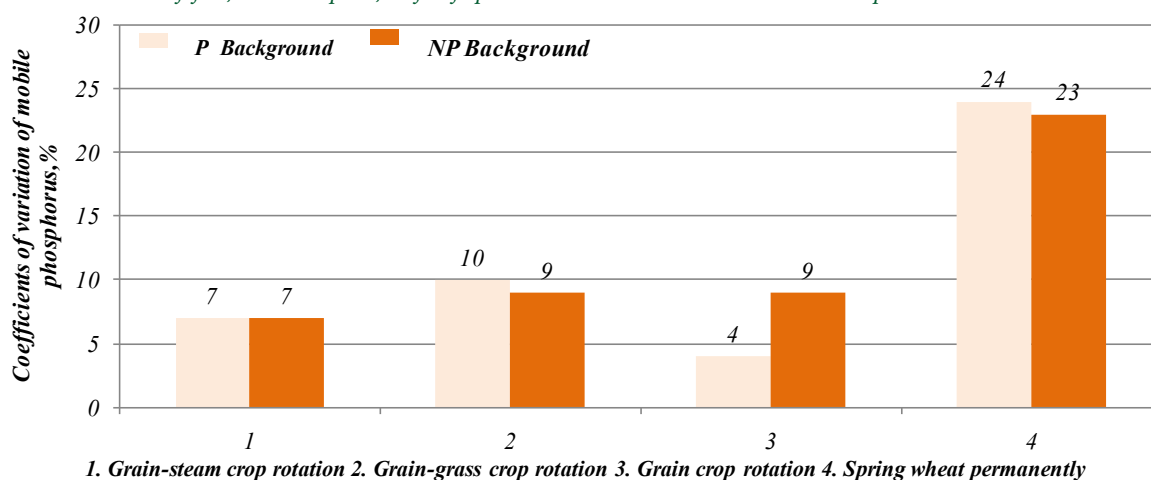


Fig. 4. Coefficients of variation of mobile phosphorus in the 0–20 cm soil layer on average for 1998–2021

Установлены корреляционные связи элементов питания с продуктивностью севооборотов (таблица 5). Сильная корреляционная зависимость установлена между продуктивностью севооборотов и азотом общим на фоне Р в 1998 и 2013 годах, продуктивностью севооборотов и азотом легкогидролизуемым в 1998 и 2021 годах, продуктивностью севооборотов и подвижным фосфором за все годы исследований.

На фоне минерального питания NP сильная корреляционная связь установлена между продуктивностью севооборотов и гумусом в 1998 и 2008 годах, азотом общим в 2008, азотом легкогидролизуемым в 2013, подвижным фосфором в 2013 году.

Максимальная доля влияния содержания гумуса на продуктивность севооборотов (65 %) установлена на фоне Р в 2013 году. Доля влияния содержания азота общего на продуктивность севооборотов на фоне Р в 1998 году составила 94 %, 2013 году – 92 %, на фоне NP – только в 2008 году 80 %.

Наибольшая доля (65 %) влияния содержания азота легкогидролизуемого на продуктивность севооборотов установлена на фоне Р в 1998 году.

Содержание подвижного фосфора оказывало максимальное влияние на продуктивность севооборотов от 56 до 98 % на фоне Р за все годы исследований, на фоне NP – только в 1998 году 56 %.

Обсуждение и выводы (Discussions and Conclusion)

На содержание гумуса в большей степени оказывали влияние скорость его минерализации и усиление его миграции по слоям почвы вследствие количества поступления пожнивно-корневых остатков.

В среднем по вариантам севооборотов наблюдается повышение содержания азота общего, однако за весь период исследований выделились севообороты с насыщением зерновыми культурами по сравнению с зернопаровым севооборотом они уступали на 7–9 %. Вариабельность изменений азота общего основана на использовании минеральных удобрений и биологического азота за счет агротехнических приемов.

Недостаток питания растений обеспечивает азот легкогидролизуемый, изменение содержания которого за счет минерального питания растений в среднем составило 7 мг/кг в зависимости от условий года и от скорости минерализации 25 мг/кг. В целом по всем вариантам опыта фиксируется снижение этого показателя плодородия почвы.

Таблица 5
Коэффициенты корреляции элементов питания с продуктивностью севооборотов
в среднем по севооборотам

Год/ ГТК	Фон	Показатель			
		Гумус	Азот общий	Азот легкогидролизуемый	Подвижный фосфор
1998 0,7	P	0,6	0,9	0,8	0,9
	NP	0,7	0,4	0,6	0,7
2008 1,5	P	0,2	0,4	0,5	0,9
	NP	0,8	0,9	0,3	0,4
2013 1,8	P	0,1	0,9	0,4	0,7
	NP	0,4	0,2	0,7	0,4
2021 0,7	P	0,2	0,5	0,8	0,7
	NP	0,3	0,3	0,6	0,3

Table 5
Correlation coefficient of nutrition elements with crop rotation productivity
on average for crop rotations

Year/ HTC	Background	Indicator			
		Humus	Common nitrogen	Easily hydrolyzed nitrogen	Mobile phosphorus
1998 0.7	P	0.6	0.9	0.8	0.9
	NP	0.7	0.4	0.6	0.7
2008 1.5	P	0.2	0.4	0.5	0.9
	NP	0.8	0.9	0.3	0.4
2013 1.8	P	0.1	0.9	0.4	0.7
	NP	0.4	0.2	0.7	0.4
2021 0.7	P	0.2	0.5	0.8	0.7
	NP	0.3	0.3	0.6	0.3

В среднем по вариантам опыта за 1998–2021 годы процесс усваивания подвижного фосфора на фоне NP идет интенсивнее на 8 %. Динамика мониторинга изменения содержания подвижного фосфора по фонам удобрённости – 8 мг/кг, за счет севооборота – 19 мг/кг, за счет фактора времени – 18 мг/кг.

Черноземы выщелоченные в пределах рассматриваемого стационарного полевого опыта имели вполне благоприятные показатели плодородия почвы, так как поступающие в большом количестве в почву органические вещества в виде не только растительных остатков, но и корневых выделений оказывают положительное влияние на состояние почвенной биоты и почвообразовательный процесс.

Библиографический список

1. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139. DOI: 10.1134/S0032180X19070062.
2. Кудяров В. Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агротехнологии. 2018. № 10. С. 3–11. DOI:10.1134/S0002188118100101.
3. Юдин С. А., Ермолаев Н. Р., Белобров В. П., Завалин А. А. Нулевая обработка почвы и ее роль в накоплении гумуса в типичных чернозёмах // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 4. С. 39–42. DOI: 10.31857/S250026272204007X.
4. Некрасов Р. В., Лукин С. В., Куницын Д. А., Пироженко В. В., Сискевич Ю. И., Бадин А. Е. Мониторинг основных агрохимических показателей плодородия пахотных почв в Центрально-Черноземном районе России // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 9. С. 4–10. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_9_4.
5. Турусов В. И., Богатых О. А., Дронова Н. В., Балюнова Е. А. Роль пожнивных-корневых остатков в восстановлении плодородия почвы // Плодородие. 2020. № 4 (115). С. 10–12. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.03.
6. Сычев В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. Москва: Изд-во РАН, 2019. 328 с.
7. Волынкина О. В. Баланс питательных веществ на посевах сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2020. № 4 (115). С. 13–16. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.04.

8. Новоселов С. И., Кузьминых А. Н., Еремеев Р. В. Плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от основной обработки почвы и севооборота // Плодородие. 2019. № 6 (111). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.06.
9. Завалин А. А., Дридигер В. К., Белобров В. П., Юдин С. А. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1506–1516. DOI: 10.1134/S0032180X18120146.
10. Еремин Д. И., Демина О. Н. Влияние минеральных удобрений на содержание легкогидролизуемого азота и нитрификационную способность пахотного чернозёма в лесостепи Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2 (167). С. 26–32. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-26-32.
11. Овсянников Ю. А. О единстве процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования // Аграрный вестник Урала. 2022. № 1 (216). С. 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46.
12. Васбиева М. Т. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении удобрений // Почвоведение. 2021. № 1. С. 90–99. DOI: 10.31857/S0032180X21010135.
13. Скороходов В. Ю. Влияние погодных факторов вегетации и фона питания на накопление нитратного азота в почве под сельскохозяйственными культурами на чернозёмах Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 176–185.
14. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20 (5). С. 467–477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477.
15. Рекомендации по агротехнологиям возделывания сельскохозяйственных культур Челябинской области / Под ред. Ю. П. Прядуна ; сост. А. А. Агеев, А. А. Анисимов, Ю. Б. Анисимов [и др.]. Челябинск: Челябинский НИИСХ, 2021. 56 с.
16. Захарова И. А., Юмашев Х. С. Изменение гумусного состояния чернозёмных почв Челябинской области в результате сельскохозяйственного использования // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2 (179). С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11.
17. Шаталина Л. П., Анисимов Ю. Б., Калюжина Е. Л. Качественный состав гумуса чернозема выщелоченного в севооборотах северной лесостепи Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2022. № 09 (224). С. 33–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-33-46.
18. Черепухина И. В., Безлер Н. В., Чистотин М. В., Хатунцева Ю. Ю. Зависимость содержания доступных форм азота в почве от скорости разложения соломы зерновых культур // Плодородие. 2019. № 5 (110). С. 37–41. DOI: 10.25680/S19948603.2019.110.11.
19. Awale R., Chatterjee A., Franzen D. Tillage and N-fertilizer influences on selected organic carbon fractions in a North Dakota silty clay soil. // Soil and Tillage Research. 2013. No. 11. Pp. 213–222. DOI: 10.1016/j.still.2013.08.006.
20. Abdollahi L., Schjonning P., Elmholt S., Munkholm L. J. The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability // Soil and Tillage Research. 2013. No. 10. Pp. 28–37. DOI: 10.1016/j.still.2013.09.011.
21. Samorodova A. P., Tvorogova V. E., Tkachenko A. A., Potsenkovskaya E. A., Lebedeva M. A., Tikhonovich I. A., Lutova L. A. Agrobacterial tumors interfere with nodulation and demonstrate the expression of nodulation-induced CLE genes in pea // Journal of Plant Physiology. 2018. Vol. 221. Pp. 94–100. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.12.005.
22. Froussart E., Bonneau J., Franche C., Bogusz D. Recent advances in actinorhizal symbiosis signaling // Plant Molecular Biology. 2016. Vol. 90. No. 6. Pp. 613–622. DOI: 10.1007/s11103-016-0450-2.

Об авторах:

Любовь Петровна Шаталина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-8651-5288, AuthorID 618148; +7 (351) 687-14-88, lubashatalina@mail.ru
 Юрий Борисович Анисимов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0003-4385-3655, AuthorID 900182; +7 (351) 687-14-88, chniisx2@mail.ru
 Юлия Сергеевна Мошкина, научный сотрудник, ORCID 0000-0001-7385-4443, AuthorID 1097396; +7 (351) 687-14-88, chniisx2@mail.ru
 Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Тимирязевский, Россия

References

1. Kiryushin V. I. Upravleniye plodorodiyem pochv i produktivnost'yu agrotsenozov v adaptivno-landshaftnykh sistemakh zemledeliya [Management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive landscape far-

- ming systems] // Eurasian Soil Science. 2019. No. 9. Pp. 1130–1139. DOI: 10.1134/S0032180X19070062. (In Russian.)
2. Kudеyаrov V. N. Balans азота, фосфора и калия в земледелии России [The balance of nitrogen, phosphorus and potassium in agriculture in Russia] // Agricultural Chemistry. 2018. No. 10. Pp. 3–11. DOI: 10.1134/S0002188118100101. (In Russian.)
 3. Yudin S. A., Ermolaev N. R., Belobrov V. P., Zavalin A. A. Nulevaya obrabotka pochvy i ee rol' v nakoplenii gumba v tipichnykh chernozemakh [Zero tillage and its role in the accumulation of humus in typical chernozems] // Russian Agricultural Sciences. 2022. No. 4. Pp. 39–42. DOI: 10.31857/S250026272204007X. (In Russian.)
 4. Nekrasov R. V., Lukin S. V., Kunitsyn D. A., Pirozhenko V. V., Siskevich Yu. I., Badin A. E. Monitoring osnovnykh agrokhimicheskikh pokazateley plodorodiya pakhotnykh pochv v Tsentral'no-Chernozemnom rayone Rossii [Monitoring of the main agrochemical indicators of fertility of arable soils in the Central Chernozem region of Russia] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2021. Vol. 35. No. 9. Pp. 4–10. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_9_4. (In Russian.)
 5. Turusov V. I., Bogatykh O. A., Dronova N. V., Balyunova E. A Rol' pozhnivno-kornevykh ostatkov v voss-tanovlenii plodorodiya pochvy [The role of crop-root residues in restoring soil fertility] // Plodorodie. No. (115). 2020. Pp. 10–12. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.03. (In Russian.)
 6. Sychev V. G. Sovremennoye sostoyaniye plodorodiya pochv i osnovnyye aspekty ego regulirovaniya [The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation]. Moscow: Izd-vo RAN, 2019. 328 p. (In Russian.)
 7. Volynkina O. V. Balans pitatel'nykh veshchestv na posevakh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [The balance of nutrients in agricultural crops] // Plodorodie. 2020. No. 4 (115). Pp. 13–16. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.04. (In Russian.)
 8. Novoselov S. I., Kuz'minykh A. N., Ereemeev R. V. Plodorodie pochvy i produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v zavisimosti ot osnovnoy obrabotki pochvy i sevooborota [Soil fertility and crop productivity depending on the main tillage and crop rotation] // Plodorodie. No. 6 (111). 2019. Pp. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.06. (In Russian.)
 9. Zavalin A. A., Dridiger V. K., Belobrov V. P., Yudin S. A. Azot v chernozemakh pri traditsionnoy tekhnologii obrabotki i pryamom poseve (obzor) [Nitrogen in chernozems with traditional processing technology and direct sowing (review)] // Eurasian Soil Science. 2018. No. 12. Pp. 1506–1516. DOI: 10.1134/S0032180X18120146. (In Russian.)
 10. Eremin D. I., Demina O. N. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na sodержaniye legkogidrolizuyemogo азота i nitrifikatsionnuyu sposobnost' pakhotnogo chernozema v lesostepi Zaural'ya [The effect of mineral fertilizers on the content of easily hydrolyzable nitrogen and the nitrification ability of arable chernozem in the forest-steppe of the Trans-Urals] // Vestnik KrasGAU. 2021. No. 2 (167). Pp. 26–32. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-26-32. (In Russian.)
 11. Ovsyannikov Yu. A. O edinstve protsessov fotosinteza, азотфиксации i почвообразования [On the unity of the processes of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 1 (216). Pp. 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46. (In Russian.)
 12. Vasbieva M. T. Izmeneniye agrokhimicheskikh pokazateley dernovo-podzolistoy pochvy Predural'ya pri dlitel'nom primenении udobreniy [Changes in agrochemical parameters of the sod-podzolic soil of the Urals with prolonged use of fertilizers] // Eurasian Soil Science. 2021. No. 1. Pp. 90–99. DOI: 10.31857/S0032180X21010135. (In Russian.)
 13. Skorokhodov V. Yu. Vliyaniye pogodnykh faktorov vegetatsii i fona pitaniya na nakopleniye nitratnogo азота v pochve pod sel'skokhozyaystvennymi kul'turami na chernozemakh Orenburgskogo Predural'ya [The influence of weather factors of vegetation and nutrition background on the accumulation of nitrate nitrogen in the soil under agricultural crops on the chernozems of the Orenburg Urals] // Animal Husbandry and Fodder Production. 2018. Vol. 101. No. 2. Pp. 176–185. (In Russian.)
 14. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. Sovershenstvovaniye sevooborotov dlya sokhraneniya plodorodiya pochvy i uvelicheniya ikh produktivnosti v usloviyakh biologicheskoy intensivatsii [Improvement of crop rotations to preserve soil fertility and increase their productivity in conditions of biological intensification] // Agricultural Science Evro-North-East. 2019. No. 20 (5). Pp. 467–477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477. (In Russian.)
 15. Rekomendatsii po agrotekhnologiyam vzdelyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur Chelyabinskoy oblasti [Recommendations on agrotechnologies of cultivation of agricultural crops of the Chelyabinsk region]. / Under the editorship of Yu. P. Pryadun ; compiler A. A. Ageev, A. A. Anisimov, Yu. B. Anisimov et al. Chelyabinsk: Chelyabinskiy NIISKh, 2021. 56 p. (In Russian.)
 16. Zakharova I. A., Yumashev Kh. S. Izmeneniye gumusnogo sostoyaniya chernozemnykh pochv Chelyabinskoy oblasti v rezul'tate sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Changes in the humus state of chernozem soils of

the Chelyabinsk region as a result of agricultural use] // Vestnik KrasGAU. 2022. No. 2 (179). Pp. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11. (In Russian.)

17. Shatalina L. P., Anisimov Yu. B., Kalyuzhina E. L. Kachestvennyy sostav gumusa chernozema vyshchelochnogo v sevooborotakh severnoy lesostepi Yuzhnogo Urala [The qualitative composition of the humus of chernozem leached in crop rotations of the northern forest-steppe of the Southern Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 09 (224). Pp. 33–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-33-46. (In Russian.)

18. Cherepukhina I. V., Bezler N. V., Chistotin M. V., Khatuntseva Yu. Yu. Zavisimost' sodержaniya dostupnykh form azota v pochve ot skorosti razlozheniya solomy zernovykh kul'tur [Dependence of the content of available forms of nitrogen in the soil on the rate of decomposition of grain straw] // Plodorodie. 2019. No. 5 (110). Pp. 37–41. DOI: 10.25680/S19948603.2019.110.11. (In Russian.)

19. Awale R., Chatterjee A., Franzen D. Tillage and N-fertilizer influences on selected organic carbon fractions in a North Dakota silty clay soil. // Soil and Tillage Research. 2013. No. 11. Pp. 213–222. DOI: 10.1016/j.still.2013.08.006.

20. Abdollahi L., Schjonning P., Elmholt S., Munkholm L. J. The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability // Soil and Tillage Research. 2013. No. 10. Pp. 28–37. DOI: 10.1016/j.still.2013.09.011.

21. Samorodova A. P., Tvorogova V. E., Tkachenko A. A., Potsenkovskaya E. A., Lebedeva M. A., Tikhonovich I. A., Lutova L. A. Agrobacterial tumors interfere with nodulation and demonstrate the expression of nodulation-induced CLE genes in pea // Journal of Plant Physiology. 2018. Vol. 221. Pp. 94–100. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.12.005.

22. Froussart E., Bonneau J., Franche C., Bogusz D. Recent advances in actinorhizal symbiosis signaling // Plant Molecular Biology. 2016. Vol. 90. No. 6. Pp. 613–622. DOI: 10.1007/s11103-016-0450-2.

Authors' information:

Lyubov P. Shatalina, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of agrolandscape agriculture, ORCID 0000-0002-8651-5288, AuthorID 618148; +7 (351) 687-14-88, lubashatalina@mail.ru

Yuriy P. Anisimov, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of agrolandscape agriculture, ORCID 0000-0003-4385-3655, AuthorID 900182; +7 (351) 687-14-88, chniisx2@mail.ru

Yuliya S. Moshkina, researcher at the laboratory of agrolandscape agriculture, ORCID 0000-0001-7385-4443, AuthorID 1097396; +7 (351) 687-14-88, chniisx2@mail.ru
Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy, Russia

Состав микрофлоры химуса пищеварительной системы и молочная продуктивность коров в период раздоя под влиянием комплексного биопрепарата

Е. А. Йылдырым^{1,2✉}, Л. А. Ильина^{1,2}, В. А. Филиппова^{1,2}, К. А. Калиткина^{1,2}, А. В. Дубровин²

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

² ООО «БИОТРОФ», Санкт-Петербург, Россия

✉ E-mail: deniz@biotrof.ru

Аннотация. Понимание взаимосвязей между микробиомом пищеварительной системы, применением пробиотических добавок и зоотехническими показателями у коров является ключом к разработке новых стратегий для повышения надоев. **Цель** исследований – изучить состав микрофлоры химуса пищеварительной системы и молочной продуктивности коров под влиянием комплексного биопрепарата. **Методы исследования.** Эксперимент проводили на коровах черно-пестрой голштинизированной породы. Были сформированы группы: контрольная I (получавшая основной рацион (ОР)) и опытная II (получавшая ОР и кормовую добавку «АнтиКлос»). Бактериальное сообщество рубца оценивали методом NGS-секвенирования, микрофлору кишечника, подстилки и корма – с использованием ПЦР в реальном времени. **Результаты** показали, что применение кормовой добавки «АнтиКлос» на поголовье скота позволило увеличить среднесуточные надои до 7,5 кг по сравнению с контролем I ($P \leq 0,05$). Самыми обильно представленными ($P \leq 0,05$) в рубце оказались бактерии *Bacteroidetes* – от $20,9 \pm 4,36$ и до $55,3 \pm 6,74$ %. Впервые показано, что под влиянием введения в рацион кормовой добавки «АнтиКлос» произошло также снижение в 16,1 раза бактерий филума *Fusobacteria* в опытной группе II по сравнению с контролем I ($P \leq 0,05$). Кроме того, применение кормовой добавки «АнтиКлос» приводило к полному исчезновению в рубце и таких видов, как *Streptococcus caprae*, *S. didelphis*, *Mycoplasma conjunctivae*, среди которых нередко встречаются условно-патогенные и патогенные формы, что составляет **научную новизну** исследования. В корме с кормового стола, подстилке и прямой кишке практически всех исследованных дойных коров встречались сходные таксоны бактерий. В химусе прямой кишки коров опытной группы снижалось по сравнению с контролем I количество таких таксонов, как *Clostridium* spp., *Enterobacteriaceae* и *Staphylococcus* spp. ($P \leq 0,05$). Таким образом, необходимо уделять внимание увеличению эффективности животноводства путем регуляции микробиомов коров, а также микрофлоры кормов и мест содержания.

Ключевые слова: микробиом, рубец, кишечник, NGS-секвенирование, АнтиКлос, количественная ПЦР, крупный рогатый скот.

Для цитирования: Йылдырым Е. А., Ильина Л. А., Филиппова В. А., Калиткина К. А., Дубровин А. В. Состав микрофлоры химуса пищеварительной системы и молочная продуктивность коров в период раздоя под влиянием комплексного биопрепарата // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 46–58. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-46-58.

Дата поступления статьи: 12.07.2023, **дата рецензирования:** 28.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

The composition of the microflora of the digestive system chyme and dairy productivity of cows during the milking period under the influence of a complex biological preparation

E. A. Yildirim^{1,2✉}, L. A. Ilyina^{1,2}, V. A. Filippova^{1,2}, K. A. Kalitkina^{1,2}, A. V. Dubrovin²

¹ Saint Petersburg State Agricultural University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia

² BIOTROF LLC, Saint Petersburg, Russia

✉ E-mail: deniz@biotrof.ru

Abstract. Understanding the relationships between the microbiome of the digestive system, the use of probiotic supplements and zootechnical indicators in cows is the key to developing new strategies to increase milk yields. **Purpose of research** to study the composition of the microflora of the digestive system chyme and dairy productivity of cows under the influence of a complex biological preparation. **Research methods.** The experiment was carried out on cows of black-and-white holsteinized. Groups were formed: control group I (who received the main ration (MR)) and experimental group II (who received MR and the “AntiKlos” feed additive). The bacterial community of the scar was evaluated by NGS-sequencing, the intestinal microflora, litter and feed were evaluated using real-time PCR. **Results** showed that the use of the “AntiKlos” feed additive on livestock allowed to increase the average daily milk yield to 7.5 kg compared with control I ($P = 0.05$). The bacteria *Bacteroidetes* were the most abundantly represented ($P \leq 0.05$) in the rumen – from 20.9 ± 4.36 and up to 55.3 ± 6.74 %. It was shown for the first time that under the influence of the introduction of the “AntiKlos” feed additive into the diet, there was also a 16.1-fold decrease in *Fusobacteria* phylum bacteria in experimental group II compared with control I ($P < 0.05$). In addition, the use of the “AntiKlos” feed additive led to the complete disappearance of such species as *Streptococcus caprae*, *S. didelphis*, *Mycoplasma conjunctivae* in the rumen, among which opportunistic and pathogenic forms are often found, which is the **scientific novelty** of the study. Similar bacterial taxa were found in the food from the feed table, litter and rectum of almost all the dairy cows studied. In the rectal chyme of cows of the experimental group, the number of taxa such as *Clostridium* spp., *Enterobacteriaceae* and *Staphylococcus* spp. decreased in comparison with control I ($P \leq 0.05$). Thus it is necessary to pay attention to increasing the efficiency of animal husbandry by regulating the microbiomes of cows, as well as the microflora of feed and housing sites. **Keywords:** microbiome, scar, intestine, NGS-sequencing, AntiKlos, quantitative PCR, cattle

For citation: Yildirim E. A., Ilyina L. A., Filippova V. A., Kalitkina K. A., Dubrovin A. V. Sostav mikroflory khimusa pishchevaritel'noy sistemy i molochnaya produktivnost' korov v period razdoya pod vliyaniem kompleksnogo biopreparata [The composition of the microflora of the digestive system chyme and dairy productivity of cows during the milking period under the influence of a complex biological preparation] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 46–58. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-46-58. (In Russian.)

Date of paper submission: 12.07.2023, **date of review:** 28.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В ходе эволюции позвоночные животные, включая и жвачных, утратили способность вырабатывать ферменты, которые разлагают целлюлозу и другие сложные некрахмалистые полисахариды [1]. Симбиотическая микробиота рубца помогает организму коров, продуцируя энзимы, которые расщепляют эти соединения на более простые молекулы для легкого всасывания. Микроорганизмы участвуют и в таких жизненно важных процессах, как синтез летучих жирных кислот, глюконеогенез, поддержание резистентности [2]. Для своего правильного функционирования система «хозяин – микробиом» должна обеспечить оптимальную среду и субстраты для поддержания баланса микрофлоры. Дис-

биоз микробиома, проникновение инфекционных микроорганизмов через корм, окружающую среду и другие факторы могут приводить к нарушениям метаболизма хозяина и возникновению инфекционных заболеваний [3].

На протяжении последних десятилетий при производстве молока основное внимание уделялось максимизации надоев, что вынуждало обогащать рационы источниками крахмала и моносахаров. Организм коров не всегда может физиологически приспособиться к резкому увеличению энергии и легкопереваримых веществ в рационе, что приводит к метаболическим заболеваниям, снижению резистентности и надоев [4]. Микробиом пищеварительной системы защищает животное-хозяина от угроз

окружающей среды и заболеваний с помощью различных механизмов, включая модуляцию иммунной системы. Нарушение микробиома может приводить к колонизации желудочно-кишечного тракта патогенной микрофлорой с последующим выделением экзотоксинов [5]. Появляется все больше доказательств, свидетельствующих о важности здоровья симбиотического микробиома как средства профилактики инфекционных заболеваний пищеварительной системы, мастита и респираторных заболеваний.

Существуют сведения о позитивном влиянии пробиотиков на продуктивность [6], а также об их эффективности в предотвращении колонизации организма патогенами [7].

Следует также иметь в виду, что микрофлора, связанная с кормами, местами обитания животных и самими животными, признается неотъемлемой частью взаимосвязанной системы, вносящей значительный вклад в производственные процессы в отрасли скотоводства [8]. Вероятно, микрофлора кормов и подстилки может являться источником заселения пищеварительной системы и резервуаром патогенной микрофлоры.

Таким образом, понимание взаимосвязей между рубцовым и кишечным микробиомом, применением пробиотических добавок и здоровьем коров является ключом к разработке новых стратегий для профилактики распространения инфекционных заболеваний и повышения надоев.

Цель – изучение методом NGS-секвенирования микробиома рубца, методом количественной ПЦР структуры микрофлоры химуса кишечника коров в период раздоя под влиянием комплексной растительно-бактериальной кормовой добавки «АнтиКлос», а также состава микрофлоры корма и подстилки для животных.

Методология и методы исследования (Methods)

Эксперимент проводили в коммерческом племенном заводе Ленинградской области под условным номером 1 на коровах черно-пестрой голштинизированной породы 2-й и 3-й лактации с продуктивностью 10 500 кг. Были сформированы группы-аналоги: контрольная I (получавшая ОР) и опытная II (получавшая ОР и «АнтиКлос»), по 10 животных в каждой группе. Кормовая добавка раздавалась вручную каждой голове опытной группы II по 50 г/гол/сут в новотельный период и раздоя начиная с 1-го дня после отела. Продолжительность дачи добавки составляла 90 дней. Рационы коров были рассчитаны автоматически с использованием программы AMTS.Cattle.Professional (<https://agmodelsystems.com>) в соответствии с общепринятыми требованиями. В том числе рацион включал на 1 голову в сутки: силос – 33 кг, сено – 1 кг, комбикорм – 14 кг. Живая масса коров составляла 600 кг. Содержание животных привязное. Животные находились в одинаковых условиях содержания.

Кормовая добавка «АнтиКлос» содержит в своем составе штамм микроорганизма *Bacillus* sp., а также органические кислоты и натуральные растительные вещества (надземные вегетативные части хвойных растений) с антибактериальным и противовоспалительным действием. Клетки штамма *Bacillus* sp. представляют собой неподвижные палочки с округлыми концами. Штамм образует овальные споры, расположенные субтерминально, не является генетически модифицированным организмом, не имеет свойств токсигенности и вирулентности, компоненты клеток штамма не токсичны для лабораторных животных.

Отбор проб содержимого рубца, прямой кишки коров, проб корма с кормового стола, а также подстилки (в трех повторностях) проводили в конце эксперимента (в период раздоя) с максимально возможным соблюдением условий асептики. Отбор проб химуса рубца (30–50 г) проводили из верхней части вентрального мешка рубца коров с использованием стерильного зонда. Отобранные образцы немедленно помещали в стерильные пластиковые пробирки. Все образцы замораживали при –20 °С и транспортировали в сухом льду в лабораторию для последующего выделения ДНК.

Среднесуточный удой оценивали ежемесячно методом контрольных доек. Количество соматических клеток в молоке коров оценивали ежемесячно по ГОСТ Р 54761-201.

Тотальную ДНК из образцов выделяли с использованием набора Genomic DNA Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, Inc., США) согласно прилагаемой инструкции. Бактериальное сообщество содержимого рубца оценивали методом NGS-секвенирования на автоматическом секвенаторе MiSeq (Illumina, Inc., США) с применением праймеров для V3-V4 региона 16S рПНК: 5'-TCGTCG GCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGCCTAC GGGNGGCWGCAG-3' (прямой праймер), 5'-GTC TCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGACAGG ACTACHVGGGTATCTAATCC-3' (обратный праймер). Условия ПЦР были следующими: 3 мин. при 95 °С, 30 с при 95 °С, 30 с при 55 °С, 30 с при 72 °С (необходимо для удлинения последовательности) (25 циклов); 5 мин. при 72 °С (окончательное удлинение). Секвенирование проводили при помощи реагентов для подготовки библиотек Nextera® XT IndexKit (Illumina, Inc., США), для очистки ПЦР-продуктов Agencourt AMPure XP (Beckman Coulter, Inc., США) и для проведения секвенирования MiSeq® ReagentKit v2 (500 cycle) (Illumina, Inc., США). Максимальная длина полученных последовательностей составила 2 × 250 п. н.

Автоматический биоинформатический анализ данных выполняли с помощью программного обеспечения QIIME2 ver. 2020.8 (<https://docs.qiime2.org/2020.8>). После импорта последовательностей в

формате .fastq из секвенирующего прибора и создания необходимых для работы файлов сопоставления (содержащих метаданные изучаемых файлов) парные строки прочтений были выровнены. Далее последовательности фильтровали по качеству с использованием параметров настроек по умолчанию. Фильтрацию шумовых последовательностей проводили с помощью встроенного в программное обеспечение QIIME2 пакета DADA2, включающего информацию о качестве последовательностей в свою модель ошибок (фильтрацию химерных последовательностей, артефактов, адаптеров), что делает алгоритм устойчивым к последовательности более низкого качества. При этом использовали максимальную длину последовательности обрезки, равную 250 п. н. (<https://benjjneb.github.io/dada2/tutorial.html>). Для построения филогении de novo выполнили множественное выравнивание последовательностей, применяя программный пакет MAFFT, далее проводили маскированное выравнивание, чтобы удалить позиции, которые значительно различались. Для назначения таксономии использовали программное обеспечение QIIME2, которое присваивает последовательности таксономическую идентификацию на основе данных ASV (методами

BLAST, RDP, RTAX, mothur и uclust), используя базу данных по 16s rRNA Silva 138.1 (<https://www.arb-silva.de/documentation/release-138.1>).

ПЦР в реальном времени содержимого кишечника, образцов подстилки и корма проводили с использованием амплификатора детектирующего ДТ Lite-4 (ООО «НПО ДНК-Технология», Россия) с помощью Набора реактивов для проведения ПЦР-РВ в присутствии интеркалирующего красителя EVA Green (ЗАО «Синтол», Россия) и праймеров (5'-3'), перечень которых приведен в таблице 1. Использовали следующие условия амплификации: 95 °С – 3 мин. (1 цикл), 95 °С – 1 мин., 57,6 °С – 1 мин., 72 °С – 1 мин. (40 циклов), 72 °С 5 мин. (1 цикл).

Математическую и статистическую обработку результатов осуществляли методом многофакторного дисперсионного анализа (multifactor ANalysis Of VAriance, ANOVA) в программах Microsoft Excel XP/2003, R-Studio (Version 1.1.453) (<https://rstudio.com>). Достоверность различий устанавливали по *t*-критерию Стьюдента, различия считали статистически значимыми при $P \leq 0,05$. Средние значения сравнивали с использованием теста достоверно значимой разницы Тьюки (HSD) и функции TukeyHSD в пакете R Stats Package.

Таблица 1
Праймеры к микроорганизмам

№ п/п	Микроорганизмы	Праймеры (5'-3')
1	<i>Streptococcus</i> spp.	F: AATTCTAATACGACTCACTATAGGGCAAGTCGAGCGAACAGACGA R: TGTCACCGGCAGTCAACTTA
2	<i>Clostridium</i> spp.	F: GTGAAATGCGTAGAGATTAGGAA R: GATYYGCGATTACTAGYAACTC
3	<i>Atopobium</i> spp.	F: AGTTTGATCCTGGCTCAG R: ATTACCGCGGCTGCTGG
4	<i>Staphylococcus</i> spp.	F: GGC CGT GTT GAA CGT GGT CAA ATC R: TIA CCA TTT CAG TAC CTT CTG GTA A
5	<i>Fusobacteriaceae</i>	F: CGCAGAAGGTGAAAGTCCTGTAT R: TGGTCCTCACTGATTACACAGA
6	<i>Enterobacteriaceae</i>	F: CAT TGA CGT TAC CCG CAG AAG AAG C R: CTC TAC GAG ACT CAA GCT TGC

Table 1
Primers for microorganisms

No.	Microorganisms	Primers (5'-3')
1	<i>Streptococcus</i> spp.	F: AATTCTAATACGACTCACTATAGGGCAAGTCGAGCGAACAGACGA R: TGTCACCGGCAGTCAACTTA
2	<i>Clostridium</i> spp.	F: GTGAAATGCGTAGAGATTAGGAA R: GATYYGCGATTACTAGYAACTC
3	<i>Atopobium</i> spp.	F: AGTTTGATCCTGGCTCAG R: ATTACCGCGGCTGCTGG
4	<i>Staphylococcus</i> spp.	F: GGC CGT GTT GAA CGT GGT CAA ATC R: TIA CCA TTT CAG TAC CTT CTG GTA A
5	<i>Fusobacteriaceae</i>	F: CGCAGAAGGTGAAAGTCCTGTAT R: TGGTCCTCACTGATTACACAGA
6	<i>Enterobacteriaceae</i>	F: CAT TGA CGT TAC CCG CAG AAG AAG C R: CTC TAC GAG ACT CAA GCT TGC

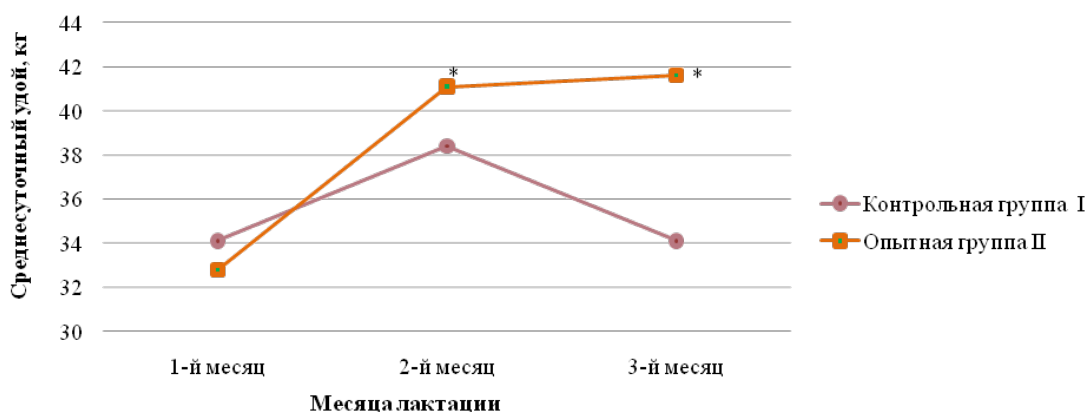


Рис. 1. Среднесуточный удой коров черно-пестрой голштинизированной породы в эксперименте по изучению действия кормовой добавки «АнтиКлос» (* $P \leq 0,05$)

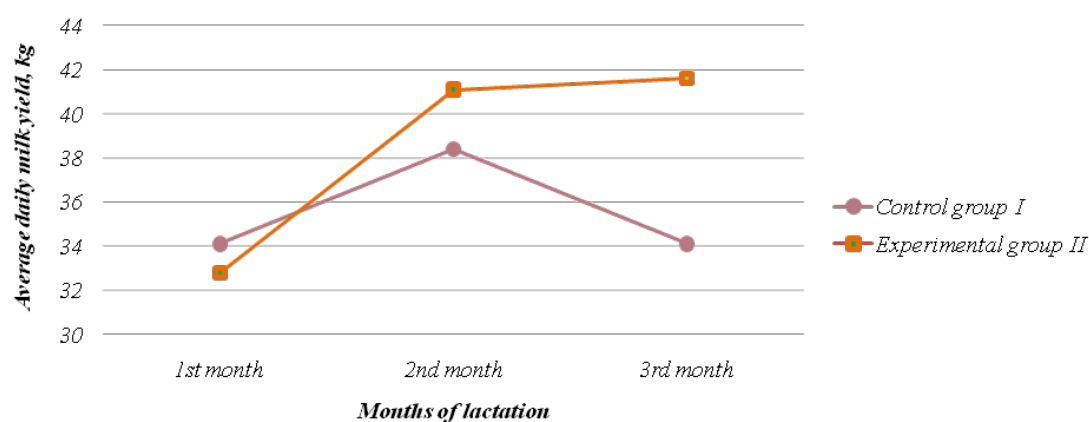


Fig. 1. Average daily milk yield of black-and-white holsteinized cows at the experiment to study the feed additive "AntiKlos" (* $P \leq 0.05$)

Результаты (Results)

Результаты научно-хозяйственного эксперимента показали, что применение кормовой добавки «АнтиКлос» (опытная группа II) на поголовье скота позволило увеличить на 2-й месяц эксперимента среднесуточные надои на 2,7 кг молока, на 3-й – на 7,5 кг молока по сравнению с контролем I ($P \leq 0,05$) (рис. 1).

Кроме того, через месяц после начала введения в рацион кормовой добавки «АнтиКлос» (группа II) наблюдалось снижение количества соматических клеток в молоке коров в 3 раза по сравнению с контролем I ($P \leq 0,01$) (рис. 2). Тем не менее на 2-й месяц лактации показатель количества соматических клеток в опытной группе II несколько превышал контрольный ($P \leq 0,05$), не выходя за границы норм у здоровых животных.

Проведение NGS-секвенирования состава микробиома содержимого рубца исследованных коров контрольной и опытной групп продемонстрировало, что в составе микрофлоры в период раздоя было выявлено 28 филумов микроорганизмов, а также неклассифицируемые бактерии (рис. 3). Доминирующими у всех животных оказались филумы Bacteroidetes и Firmicutes. Самыми обильно представленными ($P \leq 0,05$) в рубце оказались бактерии филума

Bacteroidetes – от $20,9 \pm 4,36$ в рубце животного № 6 опытной группы II до $55,3 \pm 6,74$ % в рубце коровы № 1 контрольной группы I. В среднем их количество под влиянием кормовой добавки «АнтиКлос» (опытная группа II) снижалось на 11,7 % по сравнению с контролем I ($P \leq 0,05$).

Кроме того, обращает на себя внимание снижение в 16,1 раза количества бактерий филума *Fusobacteria* в опытной группе II по сравнению с контролем I ($P \leq 0,05$). В то же время в опытной группе II под влиянием «АнтиКлоса» возрастала численность *Verrucomicrobia* ($P \leq 0,05$).

По результатам анализа микрофлоры содержимого рубца исследованных коров на уровне семейств были установлены различия ($P \leq 0,05$) между контрольной и опытной группами по 30 семействам (рис. 4). Обращает на себя особое внимание увеличение в 4,9 раза в опытной группе II суммарного содержания таких семейств, как *Bacillaceae_1*, *Bacillaceae_2*, *Bacillales_incertae_sedis*, *Bacillales_Incertae_Sedis_X* и *Bacillales_Incertae_Sedis_XI* ($P \leq 0,05$). Интересно также снижение количества некоторых семейств клостридий, относящихся к порядку *Clostridiales* в опытной группе II по сравнению с контролем I ($P \leq 0,05$).

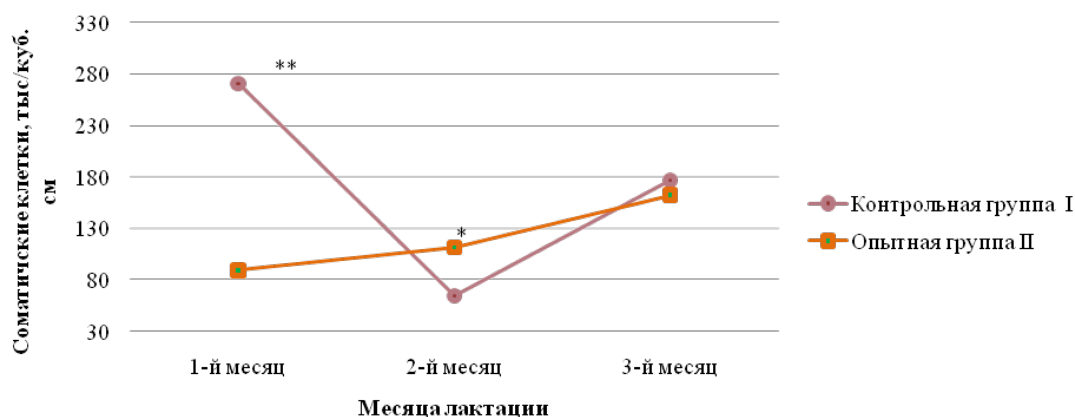


Рис. 2. Содержание соматических клеток в молоке коров черно-пестрой голштинизированной породы в эксперименте по изучению действия кормовой добавки «АнтиКлос» (* $P \leq 0,05$, ** $P \leq 0,01$)

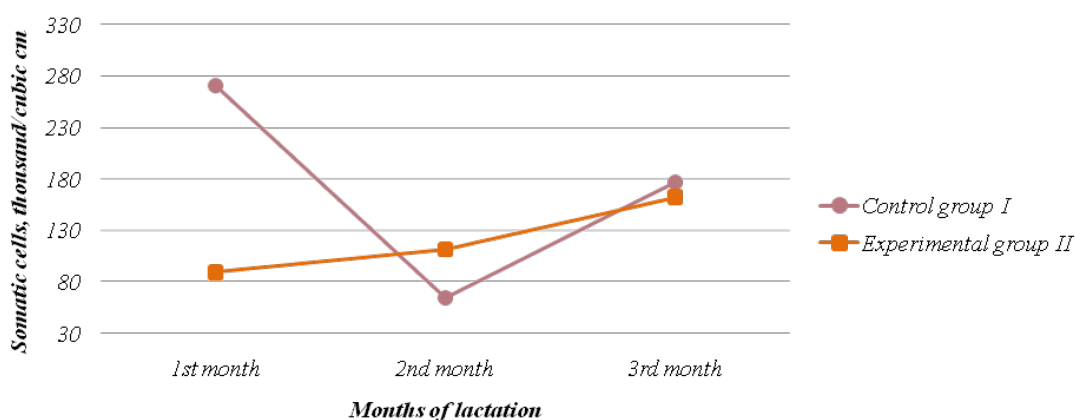


Fig. 2. The content of somatic cells in the milk of black-and-white holsteinized cows in an experiment to study the feed additive "AntiKlos" (* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$)

Более детальная оценка состава микрофлоры на уровне родов и видов показала, что в составе микрофлоры рубца были выявлены таксоны, среди которых нередко встречаются условно-патогенные и патогенные микроорганизмы (рис. 5). Однако суммарное количество микроорганизмов данных групп не превышало 1%. В рубце животного № 4 из опытной группы II не было обнаружено данных нежелательных микроорганизмов, представленных у других подопытных животных. В целом применение кормовой добавки «АнтиКлос» приводило к полному исчезновению таких видов, как *Streptococcus caprae*, *S. didelphis*, *Fusobacterium gastrois*, *F. nucleatum*, *Mycoplasma conjunctivae*.

Результаты, полученные методом количественной ПЦР, также показали, что в корме с кормового стола, подстилке и прямой кишке практически всех исследованных дойных коров встречались сходные таксоны бактерий, среди которых нередко встречаются условно-патогенные и патогенные микроорганизмы, включая *Clostridium* spp., *Enterobacteriaceae*, *Atopobium* spp., *Staphylococcus* spp. (таблица 2). В химусе прямой кишки коров опытной группы снижалось по сравнению с контролем I количество таких таксонов, как *Clostridium*

spp., *Enterobacteriaceae* ($P \leq 0,05$) и *Staphylococcus* spp. ($P \leq 0,01$).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Мы изучили методом NGS-секвенирования микробиом рубца, методом количественной ПЦР – структуру микрофлоры химуса кишечника коров в период раздоя под влиянием комплексной растительно-бактериальной кормовой добавки «АнтиКлос», а также состав микрофлоры корма и подстилки для животных.

Результаты показали, что применение кормовой добавки «АнтиКлос» приводило к увеличению надоев и снижению соматических клеток в молоке в первый месяц применения (рис. 1). Ранее при проведении эксперимента на поголовье голштинских коров исследователями было показано, что использование пробиотика на основе *Saccharomyces cerevisiae* приводило к снижению количества соматических клеток на 15-й день скармливания добавки. Был сделан вывод, что позитивные результаты были получены вследствие восстановления иммунитета под влиянием пробиотика: в крови были отмечены высокие уровни циркулирующих цитокинов (фактора некроза опухоли (TNF), интерлейкина-4 (IL4) и интерферона (IFN)).

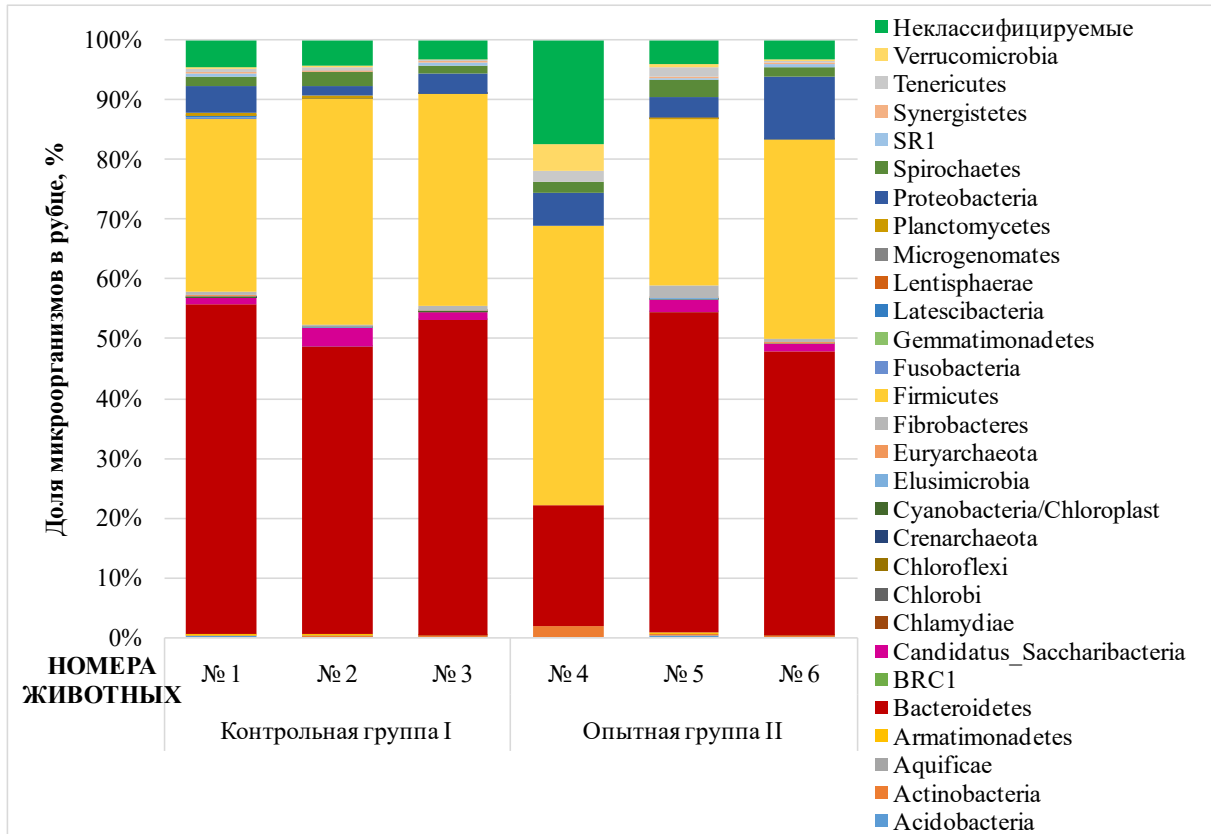


Рис. 3. Состав микрофлоры рубца коров черно-пестрой голштинизированной породы на уровне бактериальных филумов по данным NGS-секвенирования ампликонов гена 16S rPHK

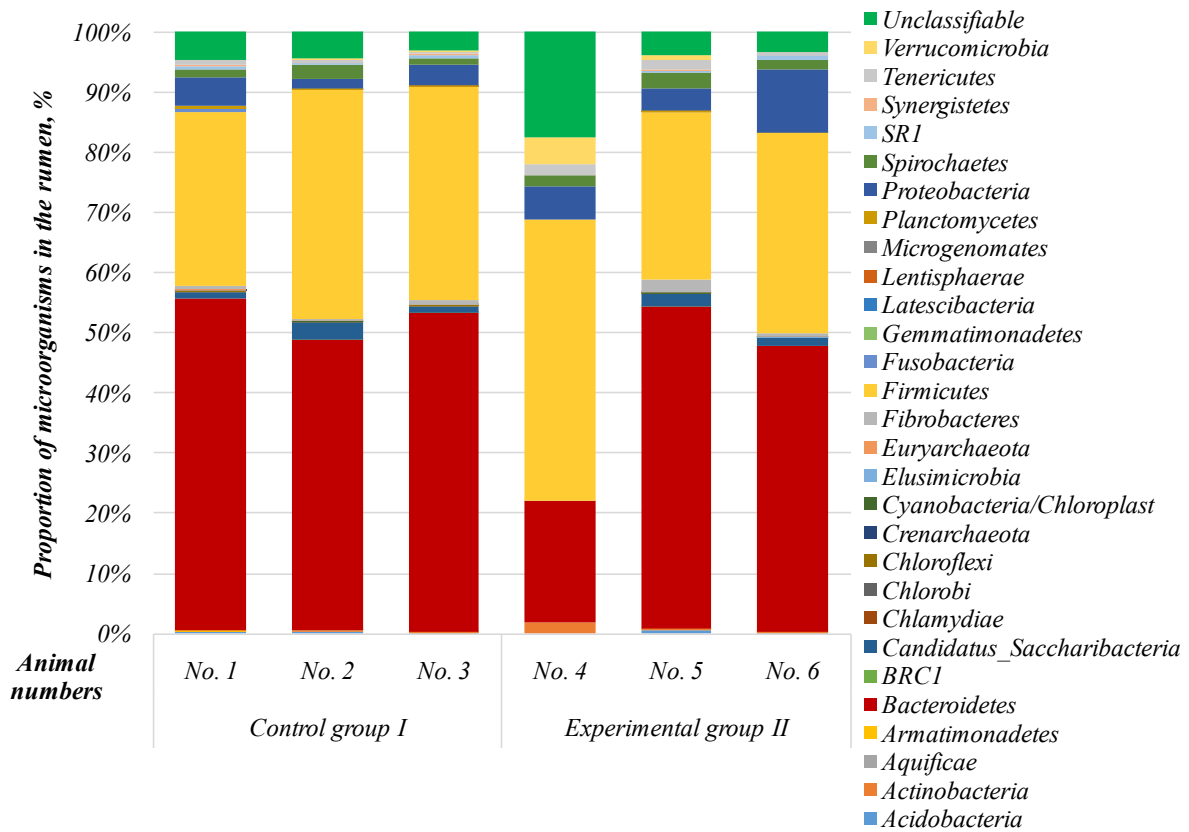


Fig. 3. Composition of the microflora of the rumen of cows of black-and-white holsteinized breed at the level of bacterial phylum according to NGS-sequencing of amplicons of the 16S rRNA gene

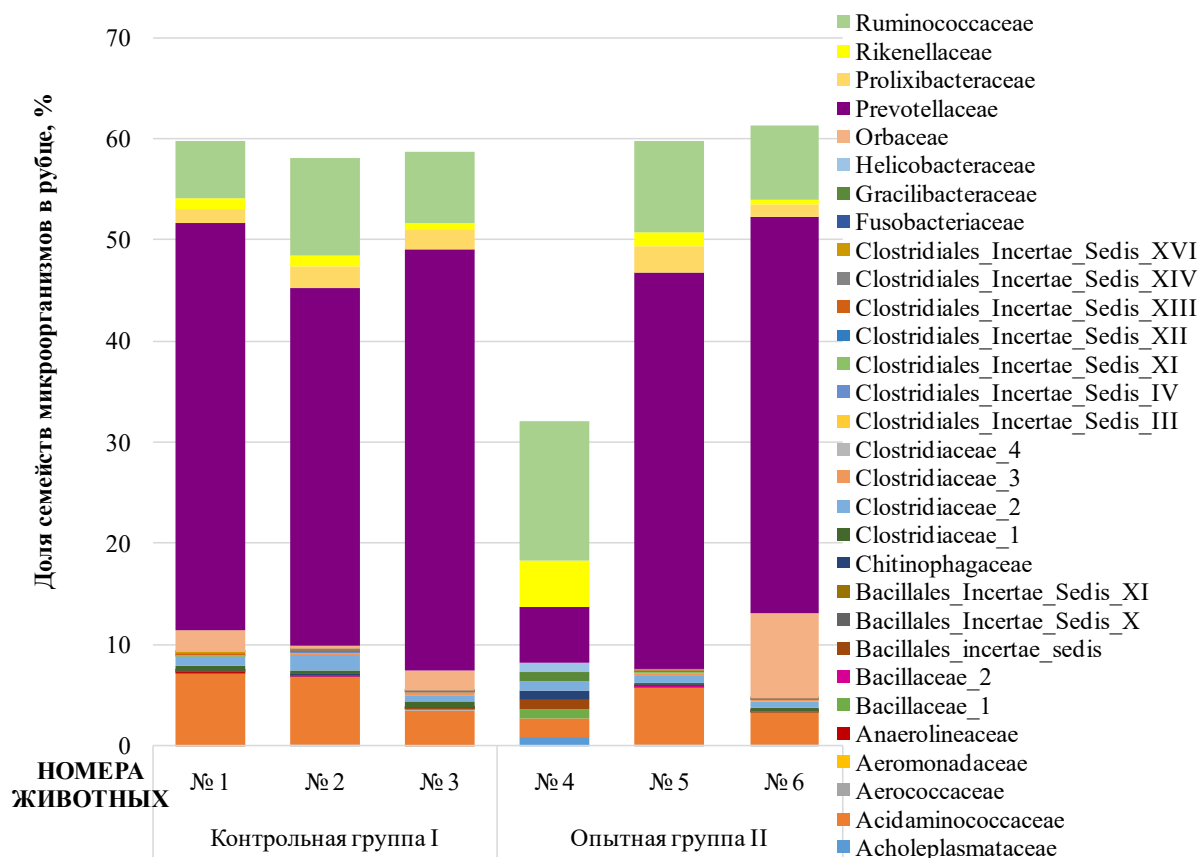


Рис. 4. Состав микрофлоры рубца коров черно-пестрой голштиinizированной породы на уровне бактериальных семейств, содержание которых достоверно различалось в опытной и контрольной группах ($P \leq 0,05$), по данным NGS-секвенирования ампликонов гена 16S рPHK

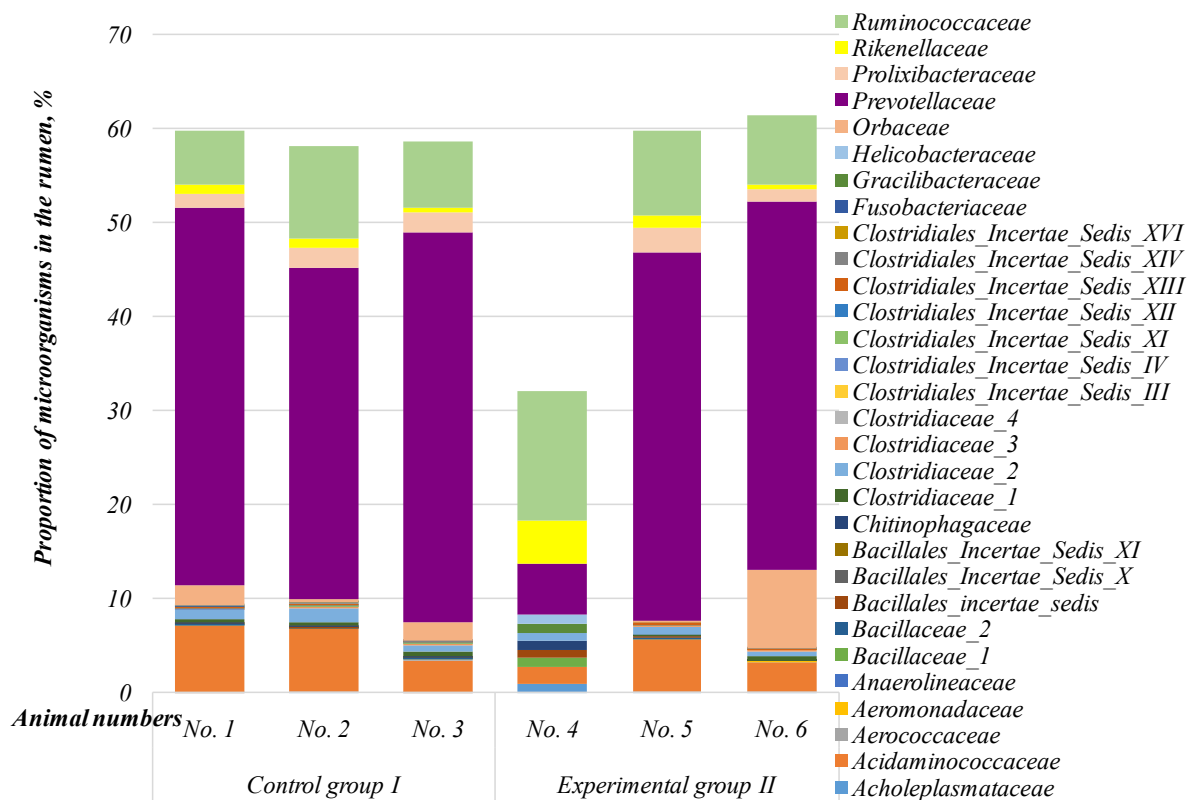


Fig. 4. The composition of the microflora of the rumen of cows of black-and-white holsteinized breed at the level of bacterial families, the contents of which significantly differed between the experimental and control groups ($P \leq 0.05$) according to NGS-sequencing of amplicons of the 16S rRNA gene

Таблица 2

Содержание в корме с кормового стола, подстилке и прямой кишке дойных коров таксонов бактерий, среди которых нередко встречаются условно-патогенные и патогенные микроорганизмы, методом количественной ПЦР, 10² геномов/г

№	Группы бактерий	Корм	Подстилка	Химус прямой кишки	
				Контрольная группа I	Опытная группа II
1	<i>Clostridium</i> spp.	1,0 × 10 ⁵ ± 8,01 × 10 ³	1,3 × 10 ⁴ ± 0,92 × 10 ²	6,3 × 10 ³ ± 0,40 × 10 ²	2,5 × 10 ³ ± 13,80**
2	Enterobacteriaceae	1,6 × 10 ⁴ ± 0,85 × 10 ²	1,6 × 10 ⁵ ± 9,22 × 10 ³	1,8 × 10 ² ± 3,27	1,3 ± 0,07**
3	<i>Atopobium</i> spp.	1,6 ± 0,081	1,0 ± 0,07	0,02 ± 0,002	0,03 ± 0,004
4	Fusobacteriaceae	13 ± 0,79	10 ± 0,87	< п. д. о.	< п. д. о.
5	<i>Staphylococcus</i> spp.	2,5 × 10 ³ ± 16,75	2,5 × 10 ³ ± 15,44	16,1 ± 0,97	0,4 ± 0,04***
6	<i>Streptococcus</i> spp.	40,0 ± 2,96	40,2 ± 3,12	< п. д. о.	< п. д. о.

Примечание. < п. д. о. – ниже предела достоверного определения методом количественной ПЦР, **P ≤ 0,05 по сравнению с контрольной группой I, ***P ≤ 0,01 по сравнению с контрольной группой I.

Table 2

The content in the feed from the feed table, litter and rectum of dairy cows, bacterial taxa, among which conditionally pathogenic and pathogenic microorganisms are often found by quantitative PCR, 10² genomes/g

No.	Groups of bacteria	Foddering	Litter	Rectum chyme	
				Control group I	Experienced group II
1	<i>Clostridium</i> spp.	1.0 × 10 ⁵ ± 8.01 × 10 ³	1.3 × 10 ⁴ ± 0.92 × 10 ²	6.3 × 10 ³ ± 0.40 × 10 ²	2.5 × 10 ³ ± 13.80**
2	Enterobacteriaceae	1.6 × 10 ⁴ ± 0.85 × 10 ²	1.6 × 10 ⁵ ± 9.22 × 10 ³	1.8 × 10 ² ± 3.27	1.3 ± 0.07**
3	<i>Atopobium</i> spp.	1.6 ± 0.081	1.0 ± 0.07	0.02 ± 0.002	0.03 ± 0.004
4	Fusobacteriaceae	13 ± 0.79	10 ± 0.87	< l.r.d.	< l.r.d.
5	<i>Staphylococcus</i> spp.	2.5 × 10 ³ ± 16.75	2.5 × 10 ³ ± 15.44	16.1 ± 0.97	0.4 ± 0.04***
6	<i>Streptococcus</i> spp.	40.0 ± 2.96	40.2 ± 3.12	< l.r.d.	< l.r.d.

Note. <l.r.d. – below the limit of reliable determination by quantitative PCR, **P ≤ 0.05 compared to control group I, ***P ≤ 0.01 compared to control group I.

Проведение нами NGS-секвенирования состава микробиома содержимого рубца исследованных коров контрольной и опытной групп показало, что доминирующими у всех животных оказались филумы *Bacteroidetes* и *Firmicutes* (рис. 3). Эти таксоны были ранее признаны «коровым микробиомом» (ядром) рубца коров, а также кишечника других млекопитающих. Снижение численности *Bacteroidetes* под влиянием кормовой добавки «АнтиКлос» имеет позитивное значение, потому что в рубце на фоне используемых в настоящее время рационов, перенасыщенных моносахарами, крахмалом и энергией, нередко наблюдается увеличение доли данных микроорганизмов. Они используют крахмал для синтеза летучих жирных кислот (ЛЖК) и молочной кислоты, однако избыточная продукция лактата и ЛЖК связана со снижением pH рубца и может приводить к каскаду метаболических заболеваний [9]. Снижение бактерий филума *Fusobacteria* при введении в рацион кормовой добавки также имеет положительное значение, поскольку увеличение численности представителя фузобактерий *Fusobacterium necrophorum* в рубце высокопродуктивных животных традиционно связывают с метаболическими заболеваниями. Известно, что из рубца, где данный микроорганизм питается молочной

кислотой и белками слизистой эпителия, он может попадать в портальную систему кровообращения и размножаться в печени, вызывая абсцессы. Основными факторами, способствующими колонизации рубца и инвазии в печень, являются гематоглинин, эндотоксин и лейкотоксин. Снижение *Verrucomicrobia* в опытной группе могло сказаться на увеличении эффективности гидролиза полисахаридов кормов, включая труднопереваримую клетчатку.

Увеличение численности семейств, таких как *Bacillaceae 1*, *Bacillaceae 2*, *Bacillales incertae sedis*, *Bacillales Incertae Sedis X* и *Bacillales Incertae Sedis XI* в опытной группе, может свидетельствовать о выживаемости штамма бацилл в составе кормовой добавки в условиях рубца, что ранее было отмечено для микроорганизмов данной группы и рядом других исследователей. Важно отметить и снижение численности некоторых семейств клостридий, относящихся к порядку *Clostridiales* в опытной группе. Среди представителей данного таксона встречаются патогенные токсинообразующие формы (например, *Clostridium difficile* и *C. perfringens*). Ранее также было показано, что различные пробиотические бактерии могут ингибировать патогенные клостридии [10].

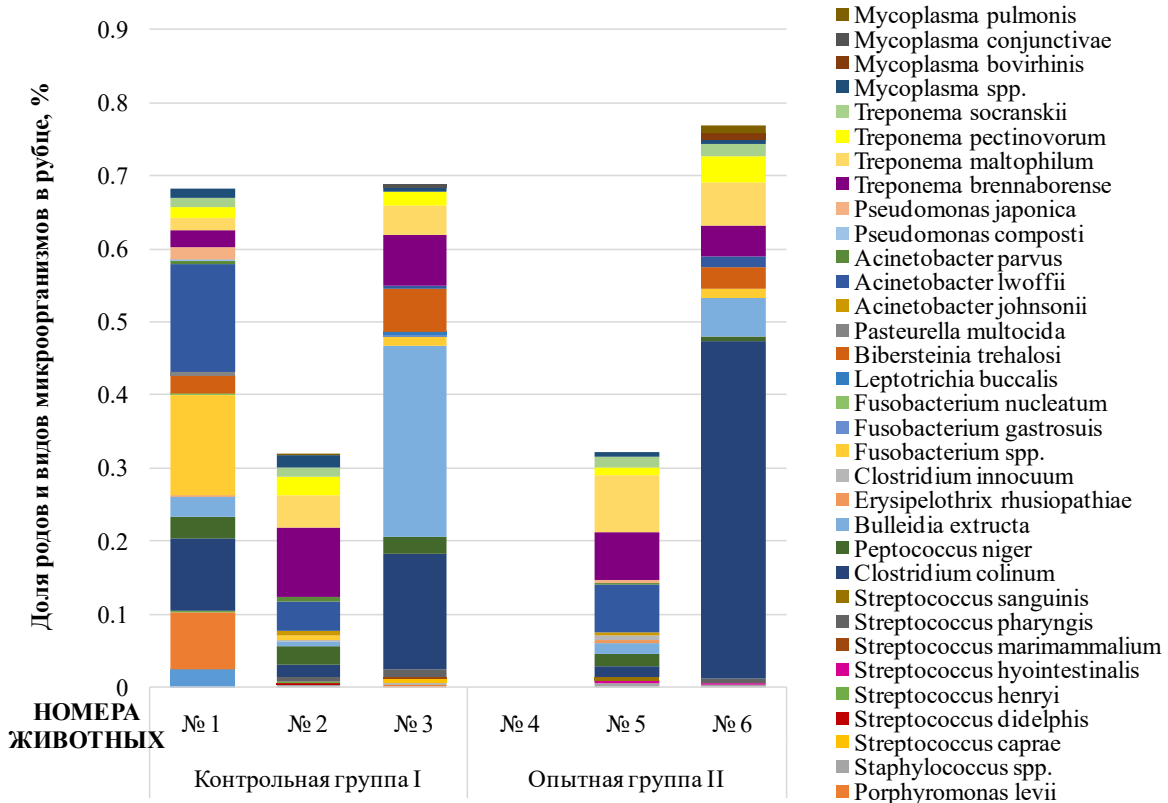


Рис. 5. Состав патогенной и оппортунистической микрофлоры рубца коров черно-пестрой голштинизированной породы на уровне бактериальных родов и видов по данным NGS-секвенирования ампликонов гена 16S рРНК

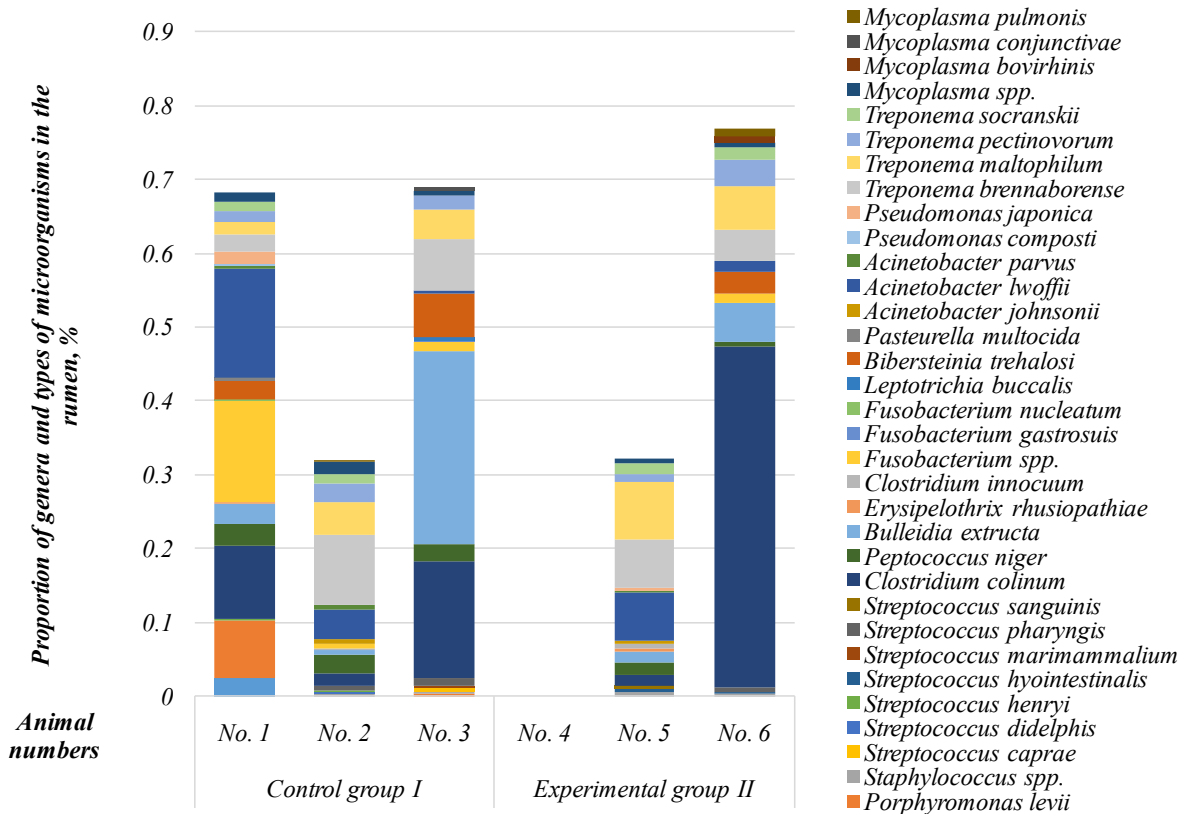


Fig. 5. Composition of pathogenic and opportunistic microflora of the rumen of black-and-white holsteinized cows at the level of bacterial genera and species according to NGS-sequencing of amplicons of the 16S rRNA gene

Кроме того, применение кормовой добавки «АнтиКлос» приводило к полному исчезновению в рубце и таких видов, как *Streptococcus caprae*, *S. didelphis*, *Fusobacterium gastrovuis*, *F. nucleatum*, *Mycoplasma conjunctivae*, среди которых нередко встречаются условно-патогенные и патогенные формы. Например, *Streptococcus* sp. – это грамположительные факультативно анаэробные бактерии. Представители этого рода связаны с возникновением маститов коров, могут продуцировать факторы вирулентности и экспрессировать гены устойчивости к антибиотикам в фекалиях крупного рогатого скота, что было показано в предыдущих исследованиях. Ранее учеными было показано, что микробиота рубца имеет связь с количеством соматических клеток в молоке, а также заболеваемостью маститом и другими воспалительными заболеваниями. Исследователи продемонстрировали, что у коров с высоким уровнем соматических клеток в молоке по сравнению с коровами с низким их содержанием наблюдалось не только снижение удоев, но и более низкая концентрация ЛЖК в рубце. При этом найдено более высокое бактериальное разнообразие в рубце и увеличенное количество филумов *SRI*, *Actinobacteria* и *Clostridiales*.

По нашему мнению, изменения в составе микробиоты рубца под влиянием кормовой добавки «АнтиКлос» могли иметь связь с увеличением молочной продуктивности подопытных коров, а также изменением содержания соматических клеток в молоке на протяжении эксперимента. Ранее исследователи также отмечали, что микробный состав рубца в некоторой степени связан со здоровьем вымени, а также коррелирует с надоями молока.

Помимо этого, результаты, полученные нами методом количественной ПЦР, также показали, что в корме с кормового стола, подстилке и прямой кишке практически всех исследованных дойных коров встречались сходные таксоны бактерий, среди которых нередко встречаются условно-патогенные и патогенные микроорганизмы, включая *Clostridium* spp., *Enterobacteriaceae*, *Atopobium* spp., *Staphylococcus* spp. (таблица 2). Это может свидетельствовать о циркуляции патогенов в условиях фермы, перекрестном заражении, а также позволяет судить о резервуарах патогенных форм, таких как корма и подстилка. Так, *Staphylococcus aureus*, *S. dysgalactiae*, *S. uberis* и *S. agalactiae* вызывают мастит коров и представляют основной риск для животных, особенно в новотельный период. Ранее показано, что данные бактерии распространяются из зараженных помещений в неинфицированные, заселяя организм коров, выживая и размножаясь в молочной железе [11]. Cobirka M. с соавторами [12] также полагают, что многие патогены, вызывающие мастит, такие как золотистый стафилококк, могут передаваться несколькими путями – не только че-

рез зараженное молоко от инфицированных коров или плохую гигиену во время доения, но и через подстилку, мочу, фекалии и другие загрязняющие вещества. В более ранних исследованиях также была показана взаимосвязь микрофлоры молока и подстилки [13].

Кроме того, обнаруженные нами в кишечнике, корме и подстилке энтеробактерии также могут представлять опасность как для животных, так и для человека – потребителя продукции животноводства. Ранее показано, что кишечник жвачных животных – это наиболее важный резервуар для STEC (энтеробактерий, вырабатывающих Шига-токсин) [14]. Считается, что молочный скот, особенно телята после отъема и телки, могут быть бессимптомными носителями STEC, вследствие чего данные бактерии могут широко распространиться в условиях молочной фермы.

Таким образом, необходимо уделять особое внимание увеличению эффективности молочного животноводства путем регуляции микробиомов коров. Изменения в рационе кормления животных путем включения эффективных пробиотиков могут повлиять на увеличение молочной продуктивности и снижение соматических клеток в молоке. Мы показали, что распространенность различных патогенов, включая зоонозные, на фермах подчеркивает значение контроля безопасности кормов, важность санитарно-гигиенических мероприятий, а также пастеризации молока для снижения заболеваемости животных и обеспечения производства безопасной продукции. Представленные нами данные совпадают и с мнением других исследователей [15].

Такие целостные подходы на уровне микробных сообществ к оценке сложных мультитрофических связей и коммуникации между микроорганизмами, животными, их кормами в рамках технологической цепи производства на ферме требуют применения ряда новых инструментов и подходов, таких как молекулярно-генетические методы.

Учитывая тот факт, что зоонозные патогены могут быть занесены в животноводческие хозяйства через корма и такие виды деятельности, как сбор урожая и торговля скотом, это увеличивает риск дальнейшей передачи данных патогенов в цепочке производства молока. Однако требуются более масштабные исследования для выявления подобных связей и закономерностей.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №23-16-20007 и гранта Санкт-Петербургского научного фонда № 23-16-20007 «Разработка комплексного биотехнологического подхода для биологической защиты КРС и продукции животноводства от патогенных бактерий и их токсинов».

Библиографический список (References)

1. Hua D., Hendriks W. H., Xiong B., Pellikaan W. F. Starch and Cellulose Degradation in the Rumen and Applications of Metagenomics on Ruminal Microorganisms // *Animals (Basel)*. 2022. No 12 (21). Article number 3020. DOI: 10.3390/ani12213020.
2. Nogal A., Valdes A. M., Menni C. The role of short-chain fatty acids in the interplay between gut microbiota and diet in cardio-metabolic health // *Gut microbes*. 2021. No 13 (1). DOI: 10.1080/19490976.2021.1897212.
3. Xu Q., Qiao Q., Gao Y., Hou J., Hu M., Du Y., Zhao K., Li X. Gut Microbiota and Their Role in Health and Metabolic Disease of Dairy Cow // *Frontiers in nutrition*. 2021. No. 8. Article number 701511. DOI: 10.3389/fnut.2021.701511.
4. Gross J. J., Bruckmaier R. M. Review: Metabolic challenges in lactating dairy cows and their assessment via established and novel indicators in milk // *Animal*. 2019. No 13 (S1). Pp. s75–s81. DOI: 10.1017/S175173111800349X.
5. Simpson K. M., Callan R. J., Van Metre D. C. Clostridial Abomasitis and Enteritis in Ruminants // *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*. 2018. No. 34 (1). Pp. 155–184. DOI: 10.1016/j.cvfa.2017.10.010.
6. Nalla K., Manda N. K., Dhillon H. S., Kanade S. R., Rokana N., Hess M., Puniya A. K. Impact of Probiotics on Dairy Production Efficiency // *Frontiers in microbiology*. 2022. No. 13. Article number 805963. DOI: 10.3389/fmicb.2022.805963.
7. Cull C., Singu V. K., Cull B. J., Lechtenberg K. F., Amachawadi R. G., Schutz J. S., Bryan K. A. Efficacy of Two Probiotic Products Fed Daily to Reduce Clostridium perfringens-Based Adverse Health and Performance Effects in Dairy Calves // *Antibiotics (Basel)*. 2022. No. 11 (11). Article number 1513. DOI: 10.3390/antibiotics11111513.
8. Attwood G. T., Wakelin S. A., Leahy S. C., Rowe S., Clarke S., Chapman D. F., Muirhead R., Jacobs J. M. E. Applications of the Soil, Plant and Rumen Microbiomes in Pastoral Agriculture // *Frontiers in nutrition*. 2019. No. 6. Article number 107. DOI: 10.3389/fnut.2019.00107.
9. Monteiro H. F., Faciola A. P. Ruminal acidosis, bacterial changes, and lipopolysaccharides // *Journal of animal science*. 2020. No. 98 (8). Article number skaa248. DOI: 10.1093/jas/skaa248.
10. Al Sharaby A., Abugoukh T. M., Ahmed W., Ahmed S., Elshaikh A. O. Do Probiotics Prevent Clostridium difficile-Associated Diarrhea? // *Cureus*. 2022. No. 14 (8). Article number e27624. DOI: 10.7759/cureus.27624.
11. Zigo F., Farkašová Z., Výrostková J., Regecová I., Ondrašovičová S., Vargová M., Sasáková N., Pecka-Kielb E., Bursová Š., Kiss D. S. Dairy Cows' Udder Pathogens and Occurrence of Virulence Factors in Staphylococci // *Animals (Basel)*. 2022. No. 12 (4). Article number 470. DOI: 10.3390/ani12040470.
12. Cobirka M., Tancin V., Slama P. Epidemiology and Classification of Mastitis // *Animals (Basel)*. 2020. No. 10 (12). Article number 2212. DOI: 10.3390/ani10122212.
13. Wu H., Nguyen Q. D., Tran T. T. M., Tang M. T., Tsuruta T., Nishino N. Rumen fluid, feces, milk, water, feed, airborne dust, and bedding microbiota in dairy farms managed by automatic milking systems // *Animal science journal*. 2019. No. 90 (3). Pp. 445–452. DOI: 10.1111/asj.13175.
14. Kim J. S., Lee M. S., Kim J. H. Recent Updates on Outbreaks of Shiga Toxin-Producing Escherichia coli and Its Potential Reservoirs // *Frontiers in cellular and infection microbiology*. 2020. No. 10. Pp. 273. DOI: 10.3389/fcimb.2020.00273.
15. Aytekin İ, Altay Y, Boztepe S, Keskin İ, Zulkadir U. The effect of body cleanliness (hygiene) score on some criteria used in the detection milk quality in dairy cattle // *Large Animal Review*. 2021. No. 27 (2). Pp. 69–74.

Об авторах:

Елена Александровна Йылдырым^{1,2}, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства¹, главный биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории², ORCID 0000-0002-5846-5105, AuthorID 714700; deniz@biotrof.ru

Лариса Александровна Ильина^{1,2}, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства¹, начальник молекулярно-генетической лаборатории², ORCID 0000-0003-2789-4844, AuthorID 673421; ilina@biotrof.ru

Валентина Анатольевна Филиппова^{1,2}, заведующий лабораторией¹, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории², ORCID 0000-0001-8789-9837, AuthorID 162830; flippova@biotrof.ru

Ксения Андреевна Калиткина^{1,2}, аспирант факультета зооинженерии и биотехнологий¹, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории², ORCID 0000-0002-9541-6839, AuthorID 1178935; kseniya.k.a@biotrof.ru

Андрей Валерьевич Дубровин², кандидат ветеринарных наук, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории, ORCID 0000-0001-8424-4114, AuthorID 927021; dubrovin@biotrof.ru

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

² ООО «БИОТРОФ», Санкт-Петербург, Россия

Authors' information:

Elena A. Yildirim^{1,2}, doctor of biological sciences, professor of the department of large livestock¹, chief biotechnologist of the molecular genetic laboratory², ORCID 0000-0002-5846-5105, AuthorID 714700; *deniz@biotrof.ru*

Larisa A. Ilyina^{1,2}, doctor of biological sciences, professor of the department of large livestock¹, head of the molecular genetic laboratory², ORCID 0000-0003-2789-4844, AuthorID 673421; *ilina@biotrof.ru*

Valentina A. Filippova^{1,2}, head of the laboratory¹, biotechnologist of the molecular genetic laboratory², ORCID 0000-0001-8789-9837, AuthorID 162830; *filippova@biotrof.ru*

Kseniya A. Kalitkina^{1,2}, postgraduate of the faculty of animal engineering and biotechnology¹, biotechnologist of the molecular genetic laboratory², ORCID 0000-0002-9541-6839, AuthorID 1178935; *kseniya.k.a@biotrof.ru*

Andrey V. Dubrovin², candidate of veterinary sciences, biotechnologist of the molecular genetic laboratory, ORCID 0000-0001-8424-4114, AuthorID 927021; *dubrovin@biotrof.ru*

¹ Saint Petersburg State Agricultural University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia

² BIOTROF LLC, Saint Petersburg, Russia

Функциональные морфоденситометрические параметры хроматина ядра и цитоплазмы эритробластов и эритроцитов птиц в постэмбриональном онтогенезе

Е. А. Колесник¹✉, М. А. Дерхо², М. Б. Ребезов^{3, 4}

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия

² Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

³ Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

⁴ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: evgeniy251082@mail.ru

Аннотация. Цель – характеристика развития синтетической активности полихроматофильных эритробластов и эритроцитов, в частности статуса гемоглобин-синтезируемой функции клеток эритроидного ряда птиц в раннем постэмбриональном онтогенезе. **Методы.** Экспериментальная часть исследования была выполнена в условиях ООО «Чембаркульская птица» (Чембаркульский район Челябинской области, Россия). Изучалась цельная кровь кур-бройлеров Hubbard ISA F15 четырех возрастных групп ($n = 40$): I группа – 1-суточные птенцы; II – 7-суточные цыплята; III – 23-суточные бройлеры; IV – 42-суточные куры. **Научная новизна.** Цитофизиологические и эпигенетические параметры синтеза гемоглобина эритробластами и юными эритроцитами важны в выяснении регуляции функций клеток крови в норме, адаптации и при нарушениях. Критерии синтетической активности эритробластов и созревающих эритроцитов животных и человека – это оптическая плотность как показатель концентрации эухроматина и метаболической динамики цитоплазмы, а также площадь, как показатель распределения эухроматина в строме ядра и размера цитоплазмы. **Результаты.** На модельном организме бройлерных кур по результатам расчета спектральных, морфометрических и оптикометрических величин ядерного хроматина, цитоплазмы и их индексированных соотношений для полихроматофильных эритробластов и эритроцитов – был охарактеризован синтез гемоглобина в раннем постэмбриональном онтогенезе. По результатам определения геометрических ($n = 30$) и оптических ($n = 300$) параметров эухроматина, гетерохроматина ядра и цитоплазмы были рассчитаны их соотношения и индексы для полихроматофильных эритробластов, полихроматофильных эритроцитов и зрелых эритроцитов в мазках периферической крови ($n = 158$), окрашенных по Паппенгейму. Цитохимические реакции, отражающие физиолого-биохимические взаимосвязи эритробластов и эритроцитов, – это основа комплексного морфоденситометрического теста уровня активности синтеза гемоглобина клетками эритроидного ряда в раннем постнатальном онтогенезе.

Ключевые слова: эритробласты, эритроциты, эухроматин, гетерохроматин, цитоплазма, гемоглобин, морфоденситометрические параметры, эпигенетика, оптическая плотность.

Для цитирования: Колесник Е. А., Дерхо М. А., Ребезов М. Б. Функциональные морфоденситометрические параметры хроматина ядра и цитоплазмы эритробластов и эритроцитов птиц в постэмбриональном онтогенезе // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 59–85. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-59-85.

Дата поступления статьи: 02.06.2023, **дата рецензирования:** 10.11.2023, **дата принятия:** 20.11.2023.

Functional morpho-densitometric parameters of chromatin of the nucleus and cytoplasm of erythroblasts and red blood cells of birds in postembryonic ontogenesis

E. A. Kolesnik¹✉, M. A. Derkho², M. B. Rebezov^{3,4}

¹Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia

²South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

³V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: evgeniy251082@mail.ru

Abstract. The purpose is to characterize the development of the synthetic activity of polychromatophilic erythroblasts and erythrocytes, in particular the status of the hemoglobin-synthesized function of avian erythroid cells in early postembryonic ontogenesis. **Methods.** The experimental part of the study was carried out in the conditions poultry farm of “Chebarkul’skaya ptitsa” (Chebarkul district of the Chelyabinsk region, Russia). The whole blood of *Hubbard ISA F15* broiler chickens of four age groups ($n = 40$) was studied: group I – 1-day-old chicks; II – 7-day-old chickens; III – 23-day-old broilers; IV – 42-day-old chickens. **The scientific novelty.** Functional morpho-densitometric parameters of chromatin of the nucleus and cytoplasm of erythroblasts and red blood cells of birds in postembryonic ontogenesis. Cytophysiological and epigenetic parameters of hemoglobin synthesis by erythroblasts and young erythrocytes are important in elucidating the regulation of the functions of blood cells in normal, adaptation and disorders. Criteria for the synthetic activity of erythroblasts and maturing erythrocytes of animals and humans are optical density as an indicator of the concentration of euchromatin and the metabolic dynamics of the cytoplasm, as well as area as an indicator of the distribution of euchromatin in the stroma of the nucleus and the size’s of the cytoplasm. **Results.** According to the results of calculation of spectral, morphometric and opticometric values of nuclear chromatin, cytoplasm and their indexed ratios for polychromatophilic erythroblasts and erythrocytes, hemoglobin synthesis in early postembryonic ontogenesis is characterized on a model organism of broiler chickens. According to the results of determining the geometric ($n = 30$) and optical ($n = 300$) parameters of euchromatin, heterochromatin of the nucleus and cytoplasm, their ratios and indices were calculated for polychromatophilic erythroblasts, polychromatophilic erythrocytes and mature erythrocytes in peripheral blood smears ($n = 158$) stained by Pappenheim. Cytochemical reactions reflecting the physiological and biochemical interrelations of erythroblasts and erythrocytes are the basis of a complex morpho-densitometric test of the activity level of hemoglobin synthesis by erythroid cells in early postnatal ontogenesis.

Keywords: erythroblasts, red blood cells, euchromatin, heterochromatin, cytoplasm, hemoglobin, morpho-densitometric parameters, epigenetics, optical density.

For citation: Kolesnik E. A., Derkho M. A., Rebezov M. B. Funktsional’nye morfodensitometricheskie parametry khromatina yadra i tsitoplazmy eritroblastov i eritrocitov ptits v postembrional’nom ontogeneze [Functional morpho-densitometric parameters of chromatin of the nucleus and cytoplasm of erythroblasts and red blood cells of birds in postembryonic ontogenesis] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 59–85. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-59-85. (In Russian.)

Date of paper submission: 02.06.2023, **date of review:** 10.11.2023, **date of acceptance:** 20.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Известны общие физиолого-биохимические и морфофункциональные закономерности строения, динамики состояния и активности фракций хроматина ядра, цитоплазмы и их генетически обусловленной синтетической активности клеток организма животных и человека [1–4], среди которых особая роль, учитывая интегрирующие функции, принадлежит клеткам крови [5–7].

За счет генетического материала, полученного из красных клеток крови кур *Gallus gallus* L., коллективами авторов были выполнены сравнительно новые общебиологические исследования стадий образования физиологически активной фракции ядерного хроматина – эухроматина [8], а также моделирование транскрипционной активности эухроматина в процессах синтеза белков в цитоплазме клеток животных и человека [1; 8–10].

В основе механизмов, обеспечивающих реализацию регуляторных функций эухроматина как физиологически активной фракции ядерного хроматина [2; 3; 9], а также трансформационного изменения эухроматина путем спирализации и компактизации хроматиновых фибрилл в неактивный гетерохроматин, и обратных процессов преобразования факультативного гетерохроматина в эухроматин [1; 8; 9; 11] осуществляются эпигенетические реакции [1; 12; 13].

Адаптивные изменения физиологической нормы реакции, то есть клеточных реакций как иммунной, так и систем обмена веществ, репаративных процессов метаболической модуляции, начинаются на субклеточном уровне, с функциональной реорганизации хроматина [11; 14; 15], то есть с эпигенетических изменений, проявляющихся в конденсации, а также форме и пространственной локализации генетического материала в ядре [13; 16; 17].

При рассмотрении регуляции синтетических функций может быть полезной динамика соотношений фракций активного и неактивного, в том числе факультативного хроматина и клеточного ядра в целом [10; 18–21].

На модельных организмах – домашней курицы (*Gallus gallus domesticus*), японского перепела (*Coturnix japonica*) и зяблика (*Fringilla coelebs*) – проведены экспериментальные исследования, показывающие, что эпигенетические механизмы, то есть морфофизиологические и морфобиохимические механизмы регуляции экспрессии генотипа, не изменяют первичную структуру дезоксирибонуклеиновой кислоты (*DNA*). При этом эпигенетические модификации функциональной активности генов могут наследоваться компетентными клетками [12].

Известно, что содержание хроматина в соматических клетках стабильно. При этом в процессе активации клетки структурная упорядоченность интерфазного хроматина претерпевает разнообразные конформационные превращения, в результате которых изменяются физико-химические и, соответственно, оптические (анизотропия) свойства фракций хроматина [22].

По данным [22], коэффициент преломления всех компонентов субклеточных структур в среднем составляет 1,088. Однако его величина может меняться в зависимости от степени конденсации хроматина: при уменьшении размера комплекса белков *DNA* и *RNA* (рибонуклеиновой кислоты) снижается и коэффициент преломления [22].

В свою очередь, по модельным организмам – птицам – установлено что степень и качество упаковки (компактизация хроматина), то есть плотность *DNA* хроматина, регулируется коровыми гистонами нуклеосом, а также территориями *DNA*, включающими сигнальные метилированные остатки цитозина [12].

Морфологическим проявлением метилирования *DNA* как основного эпигенетического феномена является состояние оптической плотности ядер и диапазон ее изменчивости, обусловленный отношением конденсации к деконденсации хроматина [23; 24].

Также по новым данным известна роль ацетилирования гистона H4 по остатку лизина в положении 16 (*H4K16-Ac*) в энхансер-промоторном взаимодействии в обеспечении декомпактизации хроматиновой фибриллы при образовании физиологически активного ядерного эухроматина [1; 9].

На основе специально подготовленного *in vitro*, очищенного трипсином ядерного хроматина из эритроцитов кур *Gallus gallus* L. изучались особенности процесса ацетилирования гистонов, ответственных за декомпактизацию факультативного гетерохроматина, то есть высококонденсированного хроматина в транскрипционно-компетентный эухроматин [9].

Следовательно, снижение уровня анизотропии ядра клеток крови (соответственно, понижение оптической плотности эухроматина) может интерпретироваться как показатель, свидетельствующий о переходе факультативного гетерохроматина в эухроматин, что указывает на биологическую активацию хроматина и служит предпосылкой для появления матричной активности *DNA* [22].

Поэтому сущность эпигенетических механизмов в генотипе индивидуума заключается в степени и качестве упаковки наследственного материала, от уровня которой зависит регуляция и доступность генетической информации для транскрипционного аппарата клетки [1; 2; 6; 12; 13].

Реализация транскрипционного аппарата клетки направлена на синтез рибонуклеиновых кислот (*RNA*), которые в дальнейшем перемещаются из ядра в цитоплазму для осуществления синтетических процессов [5; 24; 25], в том числе синтеза компонентов гемоглобина и, собственно, самих молекул гемоглобина гемопоэтическими компетентными клетками [6; 25–28].

Так, синтез гема происходит в митохондриях [7; 15], глобина на рибосомах [4] – в цитоплазме полихроматофильных эритробластов.

Гем регулирует синтез глобина, митохондриальный синтез гема предшествует началу синтеза глобиновых цепей [6; 25; 29].

Биогенез гема происходит стадийно от проэритробластов и завершается в базофильных эритробластах [25].

Собственно, молекулярная сборка гемоглобина наиболее активно осуществляется на полирибосомах в цитоплазме полихроматофильных эритроцитов [5; 6; 27].

Синтез *mRNA* (информационная *RNA*: *messenger RNA*) завершается до стадии ортохромного нормо-

бласта (эритробласта). Отмечается, что в организме цыплят необходимая для синтеза гемоглобина *mRNA* образуется в базофильных эритробластах, которая (*mRNA*), далее в последующих формах эритробластов расходуется на синтез глобина на рибосомах (глобиновых полирибосомах) [27].

Подчеркивается, что синтез глобиновых цепей осуществляется в уже «коммитированных» в направлении эритроидного роста бластов, содержащих заранее синтезированную глобиновую *mRNA*. При этом установлено, что по мере созревания эритробластов и уменьшения синтеза глобина в них количество глобиновых полирибосом в цитоплазме постепенно убывает [27].

Необходимо подчеркнуть, что расходование аккумулируемого гема по принципу обратной отрицательной связи приводит к прекращению синтеза и глобиновых цепочек и, соответственно, прекращению транскрипции *RNA* [6], так как сам гем является одним из основных сигнальных факторов синтеза глобина [6; 25].

В итоге в цитоплазме полихроматофильных эритробластов по мере синтеза гемоглобина уменьшается число глобиновых полирибосом и молекул *RNA* соответственно [27].

Данные процессы отражаются в характере окраски цитоплазмы эритроидных клеток [6; 19; 30; 31], в частности, перехода от выраженной базофилии (синевы) окраса цитоплазмы у базофильных эритробластов к сиреневому окрасу цитоплазмы у полихроматофильных эритробластов и появлению розово-сиреневого окраса цитоплазмы у полихроматофильных эритроцитов [15; 28; 30] обусловленного, с одной стороны, прекращением синтеза гема и глобина, с другой – наиболее активным синтезом собственно гемоглобина с соответствующим расходом накопленного гема и глобина [4; 6]. Данные процессы приводят к окончательному переходу розово-сиреневого окраса цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов к эозинофильному (розовому) окрасу цитоплазмы у зрелых эритроцитов птиц [30; 32].

Согласно исследованиям [2], выполненным на модели домашней курицы (*Gallus gallus L.*), была установлена четкая пространственная дифференциация конфигурации ядерного интерфазного хроматина на гетерохроматиновые и эухроматиновые участки (зоны).

Акцентируется, что терминальная эритроидная дифференцировка сопровождается обширной конденсацией хроматина [6].

Фактически ядерный эухроматин эритробластов поэтапно подвергается компактизации, следствием которой является завершение его регуляторной гемоглобин-синтезирующей активности по мере созревания эритроцитарных предшественников в зрелые эритроциты [6; 31].

Подчеркивается, что параметр оптической плотности ядерного хроматина позволяет количественно и качественно анализировать состояние и динамику ядерного хроматина и, таким образом, характеризовать и оценивать метаболическое, физиологическое и патофизиологическое, патобиохимическое состояние клеток в мазках от образцов клинической биопсии тканей, поскольку существует прямая связь между уровнями оптической плотности цифрового изображения и количественной конденсацией (компактизацией) хроматина [33–35].

В исследованиях функциональной морфологии тканей животных и человека посредством определения морфоденситометрических показателей клеточных структур, была установлена достоверная связь динамики периметра и площади фракций ядерного хроматина с оптической плотностью и физиологическим состоянием хроматина, реакциями образования эухроматина из гетерохроматина в ядре клеток [20; 33; 36; 37].

Компоненты гистологического протокола по Паппенгейму (*Artur Pappenheim*), включающего схемы окрашивания мазков клеток по Маю – Грюнвальду (*Richard May, Ludwig Grünwald*) и по Романовскому – Гимзе (*Дмитрий Л. Романовский, Gustav Giemsa*), применяют для определения параметров оптической плотности и характеристики ядерного хроматина и цитоплазмы клеток крови [19; 38; 39] и других тканей [20; 40].

Путем определения величины оптической плотности ядерного хроматина исследовали конденсацию хроматина и ядерную организацию нормальных эритропоэтических клеток в мазках костного мозга, окрашенных по Маю – Грюнвальду – Гимзе [33].

Установлено цитохимическое средство компонентов красителей схемы по Маю – Грюнвальду – Гимзе к ядерному хроматину и синтезируемым цитоплазматическим компонентам гемоглобина проэритробластов и базофильных, полихроматофильных и ортохроматических нормобластов (эритробластов) [15; 33]; для математической обработки полученных данных и интерпретации результатов применяли методы спектрального картирования подобия и анализа главных компонент (факторный анализ) [33].

Эозин и гематоксилин применяли для субклеточной дифференциации в световой микроскопии ядерных участков эухроматина и гетерохроматина в мазках эндоцервикальных клеток шейки матки, с последующим изучением *спектральных* и морфологических характеристик эухроматина и гетерохроматина в цветовой модели *RGB* [20].

Эозин и метиленовый синий (входящие в схему окрашивания по Паппенгейму) применяют для оценки динамики концентрации гемоглобина в цитоплазме эритроцитов в результате определения оп-

тической плотности и геометрических параметров красных клеток крови в стандартно изготовленных и окрашенных мазках периферической крови [15; 41; 42].

Параметры оптической плотности структур ядра и цитоплазмы клеток крови в мазках периферической крови применяют для разработки новой гиперспектральной дифференциальной диагностики групп гранулярных, агранулярных лейкоцитов путем компьютерного моделирования гиперспектральных характеристик лейкоцитов на основе компьютерной денситометрии клеток [43].

Эти исследования основаны и, в свою очередь, подтверждают гипотезу о том, что компоненты с аналогичным биохимическим составом будут иметь сходные спектральные характеристики. А различия в спектральных характеристиках клеточных структур могут быть измерены как репрезентативные характеристики [15; 20; 43].

Подчеркивается, что классификация лейкоцитов может выиграть от микроскопии гиперспектральных изображений в сочетании с методами обработки изображений и математической статистики [43].

Таким образом, параметр *оптическая плотность* как показатель концентрации эухроматина [16; 22; 36; 37; 40; 44–48] и метаболической динамики цитоплазмы [40; 47–49], а также, *площадь* как показатель величины пространственного распределения эухроматина в строме ядра [39; 48; 52] и размера цитоплазмы [39; 42], являются ведущими валидными критериями оценки синтетической активности, в частности, реализации основной гемоглобин-синтетической функции эритробластами и созревающими эритроцитами в развивающихся организмах животных и человека.

Целью исследования являлась характеристика развития синтетической активности полихроматофильных эритробластов и эритроцитов, в частности, статуса гемоглобин-синтезируемой функции клеток эритроидного ряда птиц в раннем постэмбриональном онтогенезе.

Задачи заключались в определении спектральных, морфометрических и оптикометрических параметров эухроматина, гетерохроматина ядра и цитоплазмы с расчетом соотношений функциональных величин фракций хроматина и цитоплазмы, показывающих синтетическую активность клеток эритроидного ряда птиц.

Методология и методы исследования (Methods)

Этическое заявление

Данное исследование было разработано и реализовано в соответствии с рекомендациями комитета по биоэтике Южно-Уральского государственного аграрного университета (Троицк, Челябинская область, Россия), а также было согласовано с ветеринарной службой сельскохозяйственной компании.

Животные, дизайн исследования

Экспериментальная часть исследования была выполнена в условиях ООО «Чебаркульская птица» (Чебаркульский район Челябинской области, Россия). Данное птицеводческое предприятие специализируется на выращивании цыплят-бройлеров.

Избранный объект исследования

Высокопродуктивный имеющий широкое распространение птичий кросс мясной селекции кур-бройлеров *Hubbard ISA F15* выращивался в клетках промышленным стадом в цехе бройлеров – генеральная совокупность исследуемой птицы, из которой согласно принципам случайной выборки и сбалансированных групп сформировывали четыре опытные группы ($n = 40$) в зависимости от возраста:

I группа – 1-суточные птенцы;

II – 7-суточные цыплята;

III – 23-суточные бройлеры;

IV – 42-суточные куры (бройлеры).

Экспериментальные группы кур *Gallus gallus L.* по *Anamnesis vitae* клинически (*status praesens*) соответствовали *fusce sanitas status* (статусу здоровых животных). Кормление и содержание подопытной птицы осуществляли в соответствии с алиментарными и зоогигиеническими нормами согласно рекомендациям (руководство Hubbard ISA, <http://hubbardbreeders.com>).

Материал и цитологический протокол исследования. Исследования световой микроскопией

Материалом исследований служила цельная кровь, которую получали путем декапитации птицы в 1- и 7-суточном возрасте и прижизненно из подкрыльцовой вены у 23- и 42-суточных цыплят; кровь собирали в стандартизированные вакуумные пробирки со стабилизатором *EDTA* (этилендиаминтетраацетат) [53]. Изготавливали мазки крови, которые окрашивали по комбинированному гистологическому протоколу по Паппенгейму, включающему процедуру окраски по Маю – Грюнвальду и по Романовскому – Гимзе [53; 54]. Выполняли микрофотографии клеток эритроидного ряда на большом биологическом микроскопе МББ-1А (ЛОМО, Россия) [44] микрографической окулярной видеокамерой с матрицей разрешением 5 мегапикселей (Full HD High resolution HAYEAR CMOS 5.0 Megapixel microscope video camera, China), с визуализацией, в программе ToupView (ToupTek Photonics, China, <http://www.touptek.com>) [53; 54], с построенной светодиодной системой освещения микропрепаратов белым спектром по принципу Келера (A. Köhler) [55].

Для получения наиболее качественных изображений применяли микроскопный 90-кратный апохроматический объектив масляной иммерсии с апертурой 1,3 (ЛОМО, Россия). Калибровку видеокамеры производили по шкале объекта-микрометра для проходящего света с ценой деления 0,01 мм (ЛОМО, Россия) в программе ToupView.

Калибровка спектральной чувствительности цифровых микрофотографий эритроидных клеток периферической крови

Учитывая цвет цитоплазмы и хроматина эритробластов и эритроцитов, инструментальное вычисление оптической плотности клеточных структур по микрофотографиям мазков крови начинали с калибровки спектральной чувствительности изображений по комбинации тонов синего, красного и оттенков фиолетового цветов [20; 56–60] в стандартизированных спектрограммах.

Данные спектрограммы получали при извлечении градиентов формата *RGB* из участков микрофотографий в условиях программного обеспечения Adobe Color (Adobe Inc., США, <https://color.adobe.com/ru/create/color-wheel>).

Для этого выполняли спектральный анализ и оценку оптических характеристик в построенных моделях спектра полихроматических картин фракций ядерного хроматина и цитоплазмы полихроматофильных эритробластов, полихроматофильных эритроцитов и зрелых эритроцитов с помощью Adobe Color.

Для построения моделей спектра полихроматических изображений клеточных структур крови, изображения клеток крови регистрировали цифровой микрографической камерой HAYEAR 5.0 MP (Китай) в цветовой модели *RGB* [20; 56–60].

После регистрации устройством цифровой записи микрофотографий, в Adobe Color (США) выполняли обработку экспериментальных полихроматических изображений клеток крови, выделяли необходимые для измерительного контроля, стандартизации и калибровки области изображений.

При компьютерном анализе изображений для определения цвета пикселей необходим упорядоченный набор трех значений интенсивности базисных цветов аддитивной, то есть комбинированной опорной модели [20; 56–60]. При этом каждый пиксель полученного изображения содержал информацию о значении интенсивности каждого из основных цветов – красного (*R*), зеленого (*G*) и синего (*B*).

Были приняты следующие обозначения:

- R_{\min} – минимальная величина красного спектра;
- R_{\max} – максимальная величина красного спектра;
- $R_{\text{differ.-min-max}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений красного спектра;
- G_{\min} – минимальная величина зеленого спектра;
- G_{\max} – максимальная величина зеленого спектра;
- $G_{\text{differ.-min-max}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений зеленого спектра;
- B_{\min} – минимальная величина синего спектра;
- B_{\max} – максимальная величина синего спектра;
- $B_{\text{differ.-min-max}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений синего спектра.

Морфометрия и денситометрия эритроидных клеток периферической крови

В компьютерной программе PhotoM 1.21 (Россия) [16; 61] по микрофотографиям осуществляли стехиометрическую морфометрию и денситометрию параметров полихроматофильных эритробластов (*Polychrom_EBCs*), полихроматофильных эритроцитов (*Polychrom_RBCs*) и зрелых эритроцитов (*RBCs*): определяли площадь (μm^2) ядра клетки, эухроматина ядра и цитоплазмы; площадь ядерного гетерохроматина (μm^2) определяли вычитанием площади эухроматина (μm^2) из площади ядра клетки (μm^2); определяли оптическую плотность (денситометрия) ядра клетки, эухроматина, гетерохроматина и цитоплазмы [16; 62; 63].

Всего в исследуемых возрастных группах птиц были проанализированы цитофизиологические показатели по 158 единицам ($n = 158$) микрофотографий.

В программе Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, США) выполняли корректировку абсолютных числовых значений показателя оптической плотности (*OD*) введением в расчет поправочного коэффициента путем вычисления произведения *D* на 100: ($OD = D \times 100$), где *D* – показатель оптической плотности учитываемых структур на микрофотографиях; 100 – поправочный коэффициент.

Были приняты следующие обозначения:

- $S_{\text{heterochromatin}}$, μm^2 – площадь гетерохроматина;
- $S_{\text{euchromatin}}$, μm^2 – площадь эухроматина;
- S_{nucleus} , μm^2 – площадь ядра;
- $S_{\text{cytoplasm}}$, μm^2 – площадь цитоплазмы;
- $D_{\text{heterochromatin}}$ – оптическая плотность гетерохроматина;
- $D_{\text{euchromatin}}$ – оптическая плотность эухроматина;
- $D_{\text{cytoplasm}}$ – оптическая плотность цитоплазмы.

Расчет спектральных, морфогометрических и морфоденситометрических индексов эритроидных клеток периферической крови

В программе Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, США) рассчитывали индексы *Polychrom_EBCs*, *Polychrom_RBCs* и *RBCs*:

1. $CS_{\text{RGB-differ.-min-max}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений цветового спектра (*Color Spectrum*, *CS*) в модели *RGB* – по формуле:

$$CS_{\text{RGB-differ.-min-max}} = \frac{\max CS_{\text{RGB}} \times 100}{\min CS_{\text{RGB}}} - 100 \quad (1),$$

где $\max CS_{\text{RGB}}$ – максимальная величина цветового спектра в модели *RGB*;

$\min CS_{\text{RGB}}$ – минимальная величина цветового спектра в модели *RGB*.

По формуле (1) рассчитывали процент различия минимальных от максимальных значений цветового спектра (*Color Spectrum*, *CS*) для каждого цвета

ядерных [20] и цитоплазматических структур эритроидных клеток периферической крови в модели RGB [20; 56–60].

2. $P_{\text{nucleus-differ.-min-max}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений площади ядра клетки – по формуле:

$$P_{\text{nucleus-differ.-min-max}} = \frac{S_{\text{nucleus-max}} \times 100}{S_{\text{nucleus-min}}} - 100 \quad (2),$$

где $S_{\text{nucleus-max}}$ – максимальная площадь ядра клетки, μm^2 ;

$S_{\text{nucleus-min}}$ – минимальная площадь ядра клетки, μm^2 .

3. $P_{\text{cytoplasm-differ.-min-max}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений площади цитоплазмы клетки – по формуле:

$$P_{\text{cytoplasm-differ.-min-max}} = \frac{S_{\text{cytoplasm-max}} \times 100}{S_{\text{cytoplasm-min}}} - 100 \quad (3),$$

где $S_{\text{cytoplasm-max}}$ – максимальная площадь цитоплазмы клетки, μm^2 ;

$S_{\text{cytoplasm-min}}$ – минимальная площадь цитоплазмы клетки, μm^2 .

4. N/C Ratio – величина ядерно-цитоплазматического соотношения [15; 21]:

$$N/C \text{ Ratio} = \frac{S_{\text{nucleus}}}{S_{\text{cytoplasm}}} \quad (4),$$

где S_{nucleus} – площадь ядра клетки, μm^2 ;

$S_{\text{cytoplasm}}$ – площадь цитоплазмы, μm^2 .

5. $P_{\text{N/C Ratio}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений N/C Ratio – по формуле:

$$P_{\text{N/C Ratio}} = \frac{N/C \text{ Ratio}_{\text{-max}} \times 100}{N/C \text{ Ratio}_{\text{-min}}} - 100 \quad (5),$$

где $N/C \text{ Ratio}_{\text{-max}}$ – максимальное значение ядерно-цитоплазматического соотношения клеток;

$N/C \text{ Ratio}_{\text{-min}}$ – минимальное значение ядерно-цитоплазматического соотношения клеток.

6. E/N Ratio – индекс соотношения площади эухроматина к площади ядра [20]:

$$E/N \text{ Ratio} = \frac{S_{\text{euchromatin}}}{S_{\text{nucleus}}} \quad (6),$$

где $S_{\text{euchromatin}}$ – площадь эухроматина ядра клетки, μm^2 ;

S_{nucleus} – площадь ядра клетки, μm^2 .

7. H/N Ratio – индекс соотношения площади гетерохроматина к площади ядра [20]:

$$H/N \text{ Ratio} = \frac{S_{\text{heterochromatin}}}{S_{\text{nucleus}}} \quad (7),$$

где $S_{\text{heterochromatin}}$ – площадь гетерохроматина ядра клетки, μm^2 ;

S_{nucleus} – площадь ядра клетки, μm^2 .

8. E/H Ratio – индекс соотношения площади эухроматина к площади гетерохроматина [18; 20]:

$$E/H \text{ Ratio} = \frac{S_{\text{euchromatin}}}{S_{\text{heterochromatin}}} \quad (8),$$

где $S_{\text{euchromatin}}$ – площадь эухроматина ядра клетки, μm^2 ;

$S_{\text{heterochromatin}}$ – площадь гетерохроматина ядра клетки, μm^2 .

9. $P_{\text{D}_{\text{euchromatin-differ.-min-max}}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений оптической плотности эухроматина ядра клетки – по формуле:

$$P_{\text{D}_{\text{euchromatin-differ.-min-max}}} = \frac{D_{\text{euchromatin-max}} \times 100}{D_{\text{euchromatin-min}}} - 100 \quad (9),$$

где $D_{\text{euchromatin-max}}$ – максимальное значение оптической плотности эухроматина ядра клетки;

$D_{\text{euchromatin-min}}$ – минимальное значение оптической плотности эухроматина ядра клетки.

10. $P_{\text{D}_{\text{heterochromatin-differ.-min-max}}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений оптической плотности гетерохроматина ядра клетки – по формуле:

$$P_{\text{D}_{\text{heterochromatin-differ.-min-max}}} = \frac{D_{\text{heterochromatin-max}} \times 100}{D_{\text{heterochromatin-min}}} - 100 \quad (10),$$

где $D_{\text{heterochromatin-max}}$ – максимальное значение оптической плотности гетерохроматина ядра клетки;

$D_{\text{heterochromatin-min}}$ – минимальное значение оптической плотности гетерохроматина ядра клетки.

11. $P_{\text{D}_{\text{cytoplasm-differ.-min-max}}}$, % – процент различия минимальных от максимальных значений оптической плотности цитоплазмы клетки – по формуле:

$$P_{\text{D}_{\text{cytoplasm-differ.-min-max}}} = \frac{D_{\text{cytoplasm-max}} \times 100}{D_{\text{cytoplasm-min}}} - 100 \quad (11),$$

где $D_{\text{cytoplasm-max}}$ – максимальное значение оптической плотности цитоплазмы клетки;

$D_{\text{cytoplasm-min}}$ – минимальное значение оптической плотности цитоплазмы клетки.

Расчет комплексных морфоденситометрических индексов клеток периферической крови

На основании выполненных исследований в программе Microsoft Office Excel 2007 (США) рассчитывали комплексные индексы *Polychrom_EBCs*, *Polychrom_RBCs* и *RBCs*:

12. Денситометрический эухроматино-цитоплазматический индекс (ДЭЦИ, DECI) в условных единицах по формуле:

$$DECI = \frac{100}{ODE \times ODC} \quad (12),$$

где *ODE* – оптическая плотность эухроматина;

ODC – оптическая плотность цитоплазмы;

100 – поправочный коэффициент.

13. Эухроматино-цитоплазматический морфоденситометрический индекс (ЭЦМИ, ESMI) в условных единицах по формуле:

$$ESMI = \frac{(ODE \times Se) \times (ODC \times Sc)}{100} \quad (13)$$

где *ODE* – оптическая плотность эухроматина;

Se – площадь эухроматина, μm^2 ;

ODC – оптическая плотность цитоплазмы;

Sc – площадь цитоплазмы, μm^2 ;

100 – поправочный коэффициент.

Статистический анализ

Все цифровые данные измеренных и проанализированных значений изучаемых параметров объ-

екта исследования представлены средним арифметическим (X) и стандартной ошибкой среднего: Standard Error Mean (\pm SEM).

Для проверки гипотезы, что случайные величины морфогометрических и морфоденситометрических параметров распределены нормально (*распределение Гаусса*), применяли критерий Шапиро – Уилка в программе STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc., США).

Степень и достоверность различий для величин морфоденситометрических показателей оценивали с помощью параметрического t -критерия Стьюдента для парных сравнений в программе IBM SPSS Statistics, version 20 (США).

Критический уровень значимости различия значений при проверке статистических гипотез был принят за $p \leq 0,05$.

Результаты (Results)

Морфофизиология эритроидных клеток периферической крови

В процессе созревания предшественников эритроцитов в зрелые эритроциты количественно и качественно изменялись геометрические и морфоденситометрические параметры клеточных и субклеточных структур ядра и цитоплазмы.

Базофильная (фиолетовая) окраска цитоплазмы полихроматофильных эритробластов (*Polychrom* –

EBCs) (рис. 1.1) в ходе созревания становилась слабо-базофильной (светло-фиолетовой) у полихроматофильных эритроцитов (*Polychrom_RBCs*) (рис. 1.3). Слабо-базофильная окраска цитоплазмы *Polychrom_RBCs* превращалась в ацидофильную (розовую) у зрелых эритроцитов (*RBCs*) птиц (рис. 1.5).

Ядерный гетерохроматин у *Polychrom_EBCs* был базофильным с элементами ацидофильной окраски (рис. 1.2). Эухроматин *Polychrom_EBCs* был ближе к ацидофильному цвету окраски (рис. 1.2). У *Polychrom_RBCs* гетерохроматин получает более базофильную окраску (рис. 1.4), эухроматин становится ближе к светло-базофильному цвету (рис. 1.4). Отличительной особенностью окраски фракций хроматина *RBCs* птиц являются насыщенная базофилия для гетерохроматина и светло-базофильный окрас для эухроматина ядра (рис. 1.6).

Спектральная чувствительность эритроидных клеток периферической крови на микрофотографиях

С учетом физико-химических свойств клеточных и субклеточных структур различно воспринимать пигменты из протокола окрашивания для анализа спектрограмм эритробластов и эритроцитов были выбраны *опорные цветовые каналы* из вычисленных моделей *RGB* (рис. 2.1–2.6).

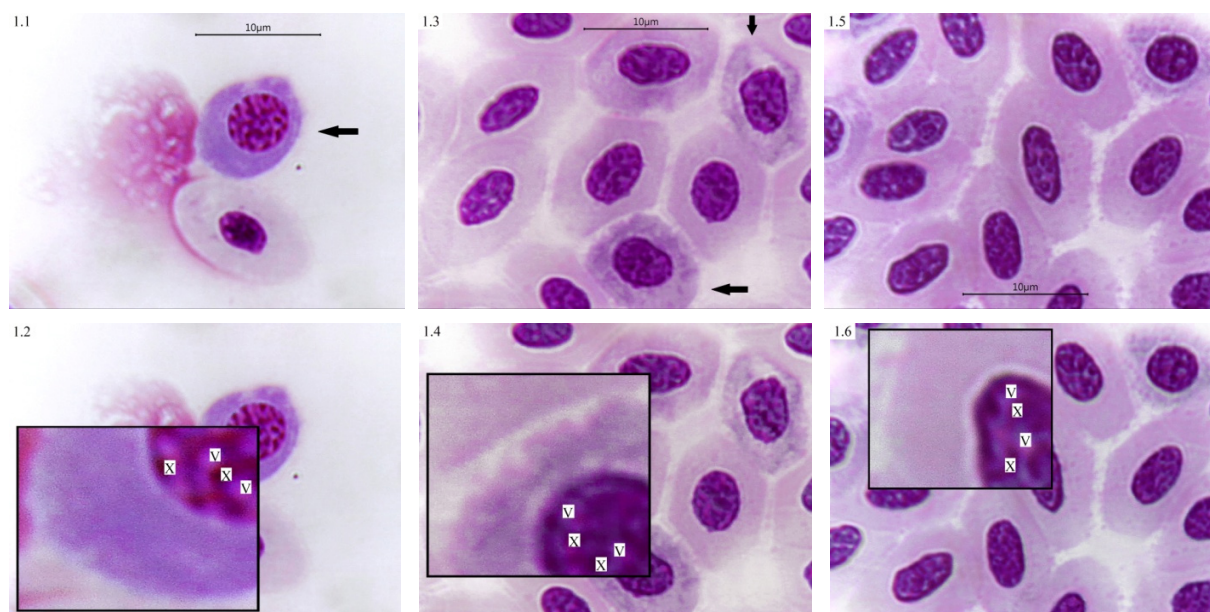
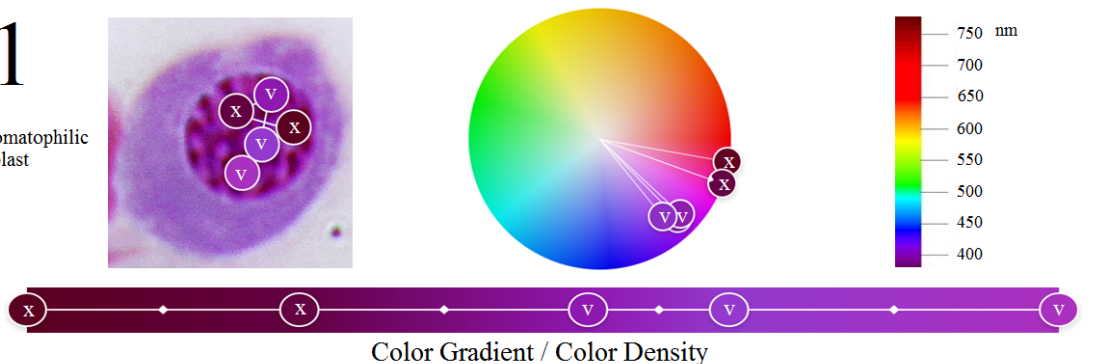


Рис. 1. Гетерохроматин и эухроматин ядра полихроматофильных эритробластов (1.1 – 1-е сут.), полихроматофильных эритроцитов (1.3 – 7-е сут.) и зрелых эритроцитов (1.5 – 7-е сут.) периферической крови кур *Gallus gallus L.* в раннем онтогенезе. Окраска по Паппенгейму. Стрелкой показаны обозначаемые объекты. Рамкой выделены территории с цифровым увеличением в масштабе: 1.2 – 9:1, 1.4 – 9:1 и 1.6 – 8:1 соответственно, крестиком (X) отмечены структуры гетерохроматина (темные участки), галочкой (V) отмечены участки эухроматина (светлая зона). Цена деления масштабной линейки 10 микрометров (μ m)

Fig. 1. Heterochromatin and euchromatin of the nucleus of polychromatophilic erythroblasts (1.1 – 1st day), polychromatophilic red blood cells (1.3 – 7th day) and mature red blood cells (1.5 – 7th day) of peripheral blood of chickens *Gallus gallus L.* in the early ontogenesis. Coloring according to Pappenheim. The arrow shows the designated objects. The frame highlights the territories with digital zoom to scale: 1.2 – 9:1, 1.4 – 9:1 and 1.6 – 8:1 respectively, the cross (X) marks the heterochromatin structures (dark areas), the tick (V) marks the euchromatin areas (light zone). Scale bar division value is 10 micrometers (μ m)

2.1

Polychromatophilic Erythroblast



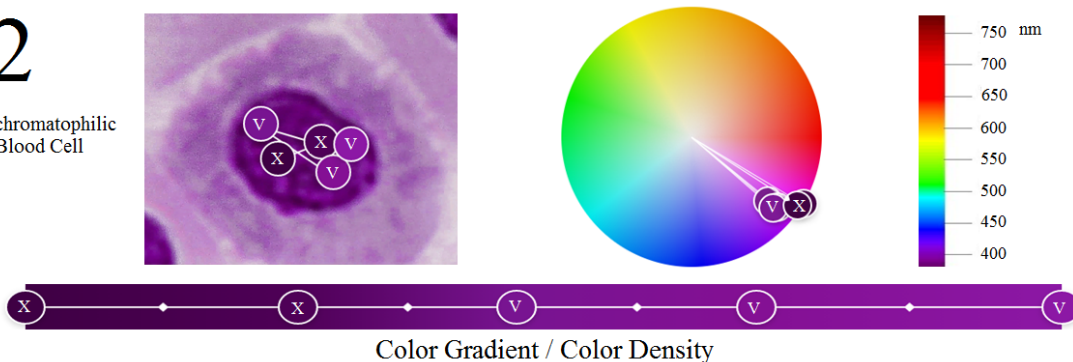
	RGB 91 : 0 : 33	RGB 99 : 0 : 66	RGB 143 : 24 : 176	RGB 148 : 57 : 206	RGB 170 : 48 : 192
	Heterochromatin (X)	Heterochromatin (X)	Euchromatin (V)	Euchromatin (V)	Euchromatin (V)
Coefficient of the Color Spectrum / Hue Balance	R 98	102	141	140	143
	G 1	1	27	47	29
	B 34	69	185	197	177
Color Contrast Ratio	38	40	73	77	69

Рис. 2.1. Модель спектра полихроматического изображения участков ядерного хроматина полихроматофильного эритроблеста бройлерных кур. Модель отображает аддитивную структуру спектра включающую: изображение клетки крови с выделенными кругами территорий гетерохроматина (X) и эухроматина (V), опорный спектральный круг фракций хроматина, стандартную нанометровую спектральную шкалу, шкалу цветового градиента и плотности цвета фракций хроматина, RGB-шкалу с коэффициентами интенсивности цветового спектра, балансом цветового оттенка и коэффициентами цветового контраста фракций хроматина

Fig. 2.1. Model of the spectrum of polychromatic image of nuclear chromatin sites of polychromatophilic erythroblast of broiler chickens. The model displays an additive spectrum structure including: an image of a blood cell with highlighted circles of heterochromatin (X) and euchromatin (V) territories, a reference spectral circle of chromatin fractions, a standard nanometer spectral scale, a scale of color gradient and density of chromatin fractions, an RGB-scale with color spectrum intensity coefficients, color shade balance and color contrast coefficients fractions of chromatin

2.2

Polychromatophilic Red Blood Cell



	RGB 63 : 0 : 68	RGB 79 : 0 : 87	RGB 120 : 20 : 145	RGB 132 : 16 : 148	RGB 140 : 24 : 165
	Heterochromatin (X)	Heterochromatin (X)	Euchromatin (V)	Euchromatin (V)	Euchromatin (V)
Coefficient of the Color Spectrum / Hue Balance	R 64	73	122	141	125
	G 2	0	33	24	25
	B 67	74	141	165	149
Color Contrast Ratio	26	29	55	65	58

Рис. 2.2. Модель спектра полихроматического изображения участков ядерного хроматина полихроматофильного эритроцита бройлерных кур. Модель отображает аддитивную структуру спектра включающую: изображение клетки крови с выделенными кругами территорий гетерохроматина (X) и эухроматина (V), опорный спектральный круг фракций хроматина, стандартную нанометровую спектральную шкалу, шкалу цветового градиента и плотности цвета фракций хроматина, RGB-шкалу с коэффициентами интенсивности цветового спектра, балансом цветового оттенка и коэффициентами цветового контраста фракций хроматина

Fig. 2.2. Model of the spectrum of polychromatic image of nuclear chromatin sites of polychromatophilic erythrocyte of broiler chickens. The model displays an additive spectrum structure including: an image of a blood cell with highlighted circles of heterochromatin (X) and euchromatin (V) territories, a reference spectral circle of chromatin fractions, a standard nanometer spectral scale, a scale of color gradient and density of chromatin fractions, an RGB-scale with color spectrum intensity coefficients, color shade balance and color contrast coefficients fractions of chromatin

2.3

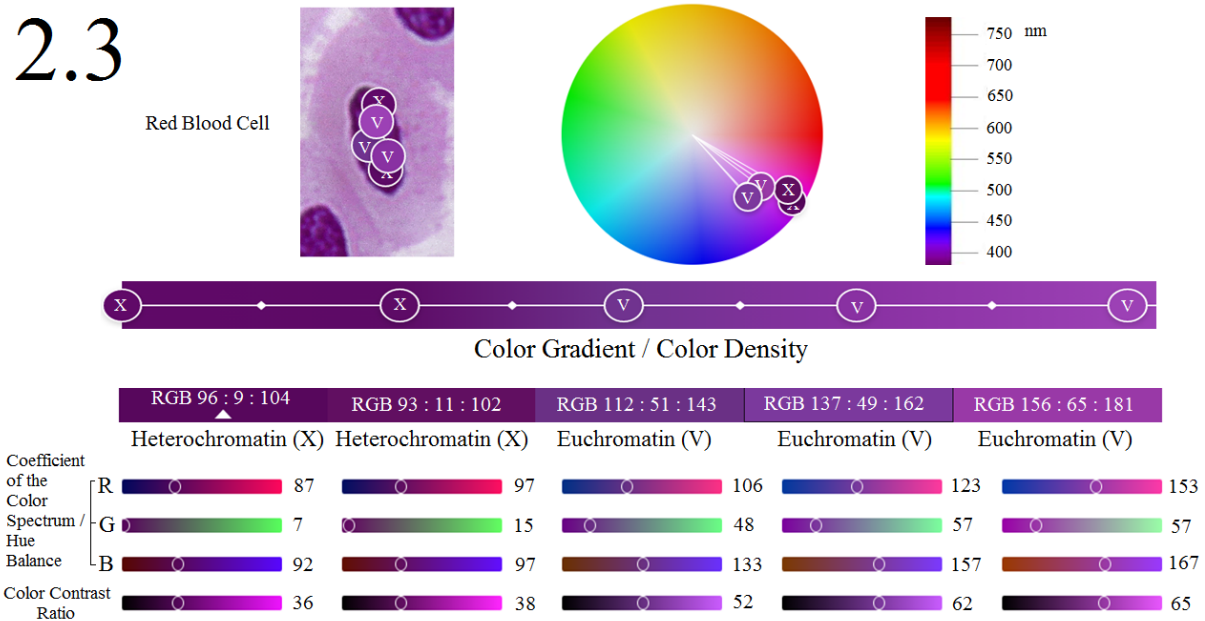


Рис. 2.3. Модель спектра полихроматического изображения участков ядерного хроматина зрелого эритроцита бройлерных кур. Модель отображает аддитивную структуру спектра включающую: изображение клетки крови с выделенными кругами территорий гетерохроматина (X) и эухроматина (V), опорный спектральный круг фракций хроматина, стандартную нанометровую спектральную шкалу, шкалу цветового градиента и плотности цвета фракций хроматина, RGB-шкалу с коэффициентами интенсивности цветового спектра, балансом цветового оттенка и коэффициентами цветового контраста фракций хроматина

Fig. 2.3. Model of the spectrum of polychromatic image of nuclear chromatin sites of mature erythrocyte of broiler chickens. The model displays an additive spectrum structure including: an image of a blood cell with highlighted circles of heterochromatin (X) and euchromatin (V) territories, a reference spectral circle of chromatin fractions, a standard nanometer spectral scale, a scale of color gradient and color density of chromatin fractions, an RGB-scale with color spectrum intensity coefficients, color shade balance and color contrast coefficients fractions of chromatin

2.4

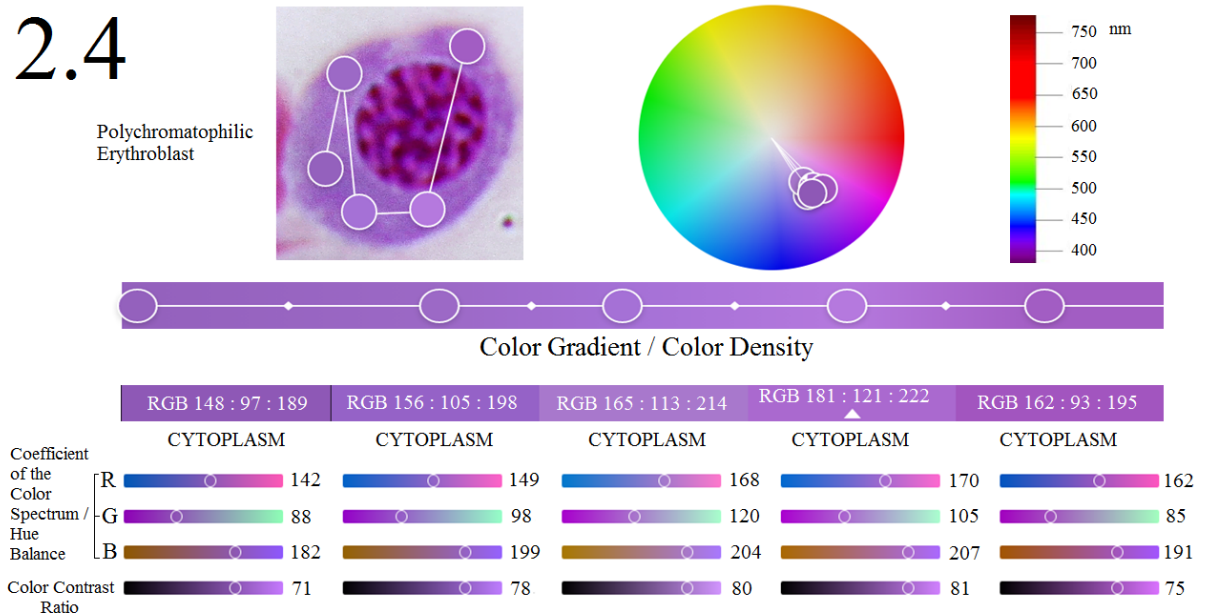
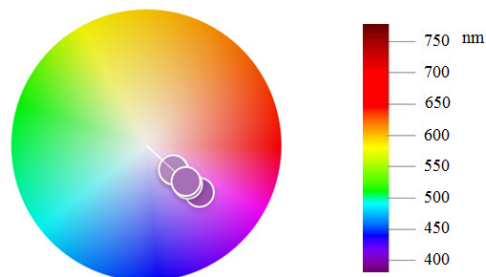
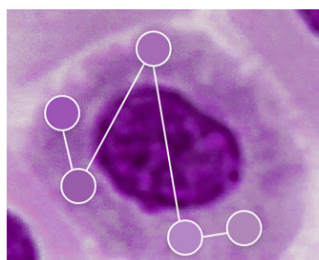


Рис. 2.4. Модель спектра полихроматического изображения участков цитоплазмы полихроматофильного эритроблеста бройлерных кур. Модель отображает аддитивную структуру спектра включающую: изображение клетки крови с выделенными кругами территорий цитоплазмы, опорный спектральный круг цитоплазмы, стандартную нанометровую спектральную шкалу, шкалу цветового градиента и плотности цвета цитоплазмы, RGB-шкалу с коэффициентами интенсивности цветового спектра, балансом цветового оттенка и коэффициентами цветового контраста цитоплазмы

Fig. 2.4. Model of the spectrum of polychromatic imaging of cytoplasm sites of polychromatophilic erythroblast of broiler chickens. The model displays an additive spectrum structure including: an image of a blood cell with highlighted circles of cytoplasmic territories, a reference spectral circle of cytoplasm, a standard nanometer spectral scale, a scale of color gradient and color density of cytoplasm, an RGB-scale with color spectrum intensity coefficients, color shade balance and color contrast coefficients of cytoplasm

2.5

Polychromatophilic
Red Blood Cell

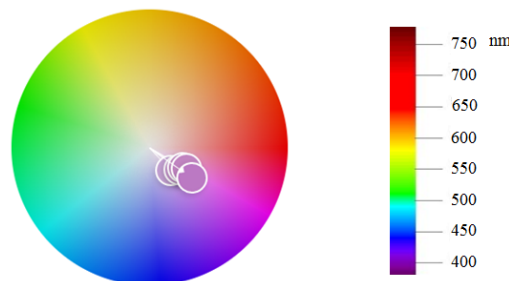
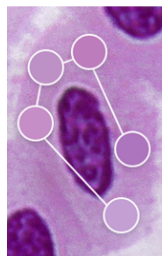
	RGB 156 : 85 : 181	RGB 154 : 93 : 170	RGB 165 : 108 : 181	RGB 181 : 134 : 198	RGB 176 : 135 : 184
	CYTOPLASM	CYTOPLASM	CYTOPLASM	CYTOPLASM	CYTOPLASM
Coefficient of the Color Spectrum / Hue Balance					
R	155	161	169	180	178
G	82	103	111	137	138
B	174	179	185	191	188
Color Contrast Ratio	68	70	73	75	74

Рис. 2.5. Модель спектра полихроматического изображения участков цитоплазмы полихроматофильного эритроцита бройлерных кур. Модель отображает аддитивную структуру спектра включающую: изображение клетки крови с выделенными кругами территорий цитоплазмы, опорный спектральный круг цитоплазмы, стандартную нанометровую спектральную шкалу, шкалу цветового градиента и плотности цвета цитоплазмы, RGB-шкалу с коэффициентами интенсивности цветового спектра, балансом цветового оттенка и коэффициентами контраста цитоплазмы

Fig. 2.5. A model of the spectrum of the polychromatic image of the cytoplasm sites of the polychromatophilic erythrocyte of broiler chickens. The model displays an additive spectrum structure including: an image of a blood cell with highlighted circles of cytoplasmic territories, a reference spectral circle of cytoplasm, a standard nanometer spectral scale, a scale of color gradient and color density of cytoplasm, an RGB-scale with color spectrum intensity coefficients, color shade balance and color contrast coefficients of cytoplasm

2.6

Red Blood Cell



	RGB 195 : 159 : 211	RGB 198 : 142 : 198	RGB 189 : 145 : 198	RGB 189 : 125 : 189	RGB 173 : 117 : 189
	CYTOPLASM	CYTOPLASM	CYTOPLASM	CYTOPLASM	CYTOPLASM
Coefficient of the Color Spectrum / Hue Balance					
R	194	199	192	193	187
G	160	150	139	133	121
B	208	206	193	193	195
Color Contrast Ratio	82	81	76	76	76

Рис. 2.6. Модель спектра полихроматического изображения участков цитоплазмы зрелого эритроцита бройлерных кур. Модель отображает аддитивную структуру спектра включающую: изображение клетки крови с выделенными кругами территорий цитоплазмы, опорный спектральный круг цитоплазмы, стандартную нанометровую спектральную шкалу, шкалу цветового градиента и плотности цвета цитоплазмы, RGB-шкалу с коэффициентами интенсивности цветового спектра, балансом цветового оттенка и коэффициентами контраста цитоплазмы

Fig. 2.6. Model of the spectrum of polychromatic image of the cytoplasm sites of mature erythrocyte of broiler chickens. The model displays an additive spectrum structure including: an image of a blood cell with highlighted circles of cytoplasmic territories, a reference spectral circle of cytoplasm, a standard nanometer spectral scale, a scale of color gradient and color density of cytoplasm, an RGB-scale with color spectrum intensity coefficients, color shade balance and color contrast coefficients of cytoplasm

Таблица 1

Значения аддитивной цветовой модели RGB фракций хроматина и цитоплазмы полихроматофильных эритробластов, полихроматофильных эритроцитов и зрелых эритроцитов бройлерных кур в микрофотографиях

Параметр	min R	max R	R _{differ.min-max} , %	min B	max B	B _{differ.min-max} , %	min G	max G	G _{differ.min-max} , %
Фракции хроматина									
<i>Polychrom_EBCs</i>	91	170	86,81	33	206	524,24	0	57	-
<i>Polychrom_RBCs</i>	63	140	122,22	68	165	142,65	0	24	-
<i>RBCs</i>	93	156	67,74	102	181	77,45	9	65	622,22
Цитоплазма									
<i>Polychrom_EBCs</i>	148	181	22,30	189	222	17,46	93	121	30,11
<i>Polychrom_RBCs</i>	154	181	17,53	170	198	16,47	85	135	58,82
<i>RBCs</i>	173	198	14,45	189	211	11,64	117	159	35,90

Биология и биотехнологии

Table 1

Values of the additive RGB color model of chromatin fractions and cytoplasm of polychromatophilic erythroblasts, polychromatophilic erythrocytes and mature erythrocytes of broiler chickens in microphotographs

Parameter	min R	max R	R _{differ.min-max} , %	min B	max B	B _{differ.min-max} , %	min G	max G	G _{differ.min-max} , %
Fractions of chromatin									
<i>Polychrom_EBCs</i>	91	170	86.81	33	206	524.24	0	57	-
<i>Polychrom_RBCs</i>	63	140	122.22	68	165	142.65	0	24	-
<i>RBCs</i>	93	156	67.74	102	181	77.45	9	65	622.22
Cytoplasm									
<i>Polychrom_EBCs</i>	148	181	22.30	189	222	17.46	93	121	30.11
<i>Polychrom_RBCs</i>	154	181	17.53	170	198	16.47	85	135	58.82
<i>RBCs</i>	173	198	14.45	189	211	11.64	117	159	35.90

Опорный для фракций хроматина В синий цветовой канал имел тенденцию к существенному снижению величин от *Polychrom_EBCs* к *Polychrom_RBCs* с последующим ростом у *RBCs* (рис. 2.1–2.3, таблица 1). Схожая тенденция динамики величин регистрировалась для R – красного цветowego канала (рис. 2.1–2.3, таблица 1). При этом процент различия минимальных от максимальных значений цветowego канала В имел стабильную тенденцию к снижению для фракций хроматина от *Polychrom_EBCs* к *RBCs* (таблица 1). Процент различия минимальных от максимальных значений «R» – цветowego канала для фракций хроматина отличался ростом от *Polychrom_EBCs* к *Polychrom_RBCs* с последующим снижением для *RBCs* (таблица 1).

Опорными для цитоплазмы эритроидных клеток являлись цветовой каналы R и B. Цветовой канал R цитоплазмы имел стабильные величины от *Polychrom_EBCs* к *Polychrom_RBCs* (рис. 2.4, 2.5, таблица 1), и повышался для *RBCs* (рис. 2.6, таблица 1). Динамика цветowego канала B цитоплазмы отличалась снижением от *Polychrom_EBCs* к *Polychrom_RBCs* (рис. 2.4, 2.5, таблица 1), и некоторым ростом у *RBCs* (рис. 2.6, таблица 1). Проценты различия минимальных от максимальных значений цветowych каналов R и B имели тенденцию к снижению от *Polychrom_EBCs* к *RBCs* (таблица 1).

Тенденцию стабилизации структуры ядра и цитоплазмы в ряду от *Polychrom_EBCs* к *RBCs* показы-

вала стагнационная динамика процентов различия минимальных от максимальных значений цветowych каналов спектрограмм (таблица 1). Величины зеленого цветowego канала G хроматина и цитоплазмы изменялись (рис. 2.1–2.6, таблица 1), их роль может быть интересна в последующих исследованиях.

Динамика морфogeометрических и морфоденситометрических параметров развития эритроидных клеток в связи с регуляцией синтеза гемоглобина

В таблицах 2–3 и рис. 3.1–3.6 представлены стохастические абсолютные и индексированные геометрические и оптические данные по морфологии клеток эритроидного ряда бройлерных кур в раннем постэмбриональном онтогенезе.

При созревании от полихроматофильных эритробластов (*Polychrom_EBCs*) к полихроматофильным эритроцитам (*Polychrom_RBCs*) в связи со статистически значимым уменьшением оптической плотности эухроматина на 41,82 %, $p \leq 0,001$ и цитоплазмы на 39,38 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.1) существенно уменьшалась стабильность структуры эухроматина и цитоплазмы у *Polychrom_RBCs*. Процент различия минимальных от максимальных значений оптической плотности у эухроматина *Polychrom_RBCs* возрастал до 248,23 %, $p \leq 0,001$, у цитоплазмы *Polychrom_RBCs* повышался до 161,73%, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.3). При этом структура гетерохроматина *Polychrom_RBCs* стабилизировалась.

Таблица 2
Морфогеометрические параметры полихроматофильных эритробластов, полихроматофильных эритроцитов и зрелых эритроцитов бройлерных кур в постэмбриональном онтогенезе ($X \pm SEM$)

Показатель	<i>Polychrom_EBCs</i>	<i>Polychrom_RBCs</i>	<i>RBCs</i>
$S_{heterochromatin}, \mu m^2 (n = 30)$	9,00 ± 0,46	7,98 ± 0,47	7,55 ± 0,29
$S_{euchromatin}, \mu m^2 (n = 30)$	8,20 ± 0,39	7,95 ± 0,43	6,43 ± 0,33**
$S_{nucleus}, \mu m^2 (n = 30)$	17,19 ± 0,68	15,93 ± 0,82	13,98 ± 0,45
$S_{min_nucleus}, \mu m^2$	14,85	11,61	11,93
$S_{max_nucleus}, \mu m^2$	21,95	19,59	15,96
$P_{nucleus-differ-min-max}, \%$	47,81	68,73	33,78
$S_{cytoplasm}, \mu m^2 (n = 30)$	53,27 ± 2,78	67,27 ± 3,05*	75,76 ± 2,94
$S_{min_cytoplasm}, \mu m^2$	33,22	54,39	63,71
$S_{max_cytoplasm}, \mu m^2$	62,9	80,82	91,18
$P_{cytoplasm-differ-min-max}, \%$	89,34	48,59*	43,12
N/C Ratio	0,32 ± 0,02	0,24 ± 0,01**	0,18 ± 0,01**
N/C Ratio _{min}	0,26	0,19	0,17
N/C Ratio _{max}	0,47	0,29	0,23
$P_{N/C Ratio}, \%$	80,77	52,63**	35,29**
E/N Ratio	0,48 ± 0,01	0,50 ± 0,01	0,46 ± 0,01
H/N Ratio	0,52 ± 0,01	0,50 ± 0,01	0,54 ± 0,01
E/H Ratio	0,91 ± 0,06	1,01 ± 0,05	0,85 ± 0,05

Примечание. *, ** – уровни значимости различий средних значений статистически значимы по t-критерию в парном сравнении: *Polychrom_EBCs* и *Polychrom_RBCs*, *Polychrom_RBCs* и *RBCs* соответственно при $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$.

Table 2
Morpho-geometric parameters of polychromatophilic erythroblasts, polychromatophilic erythrocytes and mature erythrocytes of broiler chickens in postembryonic ontogenesis ($X \pm SEM$)

Parameter	<i>Polychrom_EBCs</i>	<i>Polychrom_RBCs</i>	<i>RBCs</i>
$S_{heterochromatin}, \mu m^2 (n = 30)$	9.00 ± 0.46	7.98 ± 0.47	7.55 ± 0.29
$S_{euchromatin}, \mu m^2 (n = 30)$	8.20 ± 0.39	7.95 ± 0.43	6.43 ± 0.33**
$S_{nucleus}, \mu m^2 (n = 30)$	17.19 ± 0.68	15.93 ± 0.82	13.98 ± 0.45
$S_{min_nucleus}, \mu m^2$	14.85	11.61	11.93
$S_{max_nucleus}, \mu m^2$	21.95	19.59	15.96
$P_{nucleus-differ-min-max}, \%$	47.81	68.73	33.78
$S_{cytoplasm}, \mu m^2 (n = 30)$	53.27 ± 2.78	67.27 ± 3.05*	75.76 ± 2.94
$S_{min_cytoplasm}, \mu m^2$	33.22	54.39	63.71
$S_{max_cytoplasm}, \mu m^2$	62.9	80.82	91.18
$P_{cytoplasm-differ-min-max}, \%$	89.34	48.59*	43.12
N/C Ratio	0.32 ± 0.02	0.24 ± 0.01**	0.18 ± 0.01**
N/C Ratio _{min}	0.26	0.19	0.17
N/C Ratio _{max}	0.47	0.29	0.23
$P_{N/C Ratio}, \%$	80.77	52.63**	35.29**
E/N Ratio	0.48 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.46 ± 0.01
H/N Ratio	0.52 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.54 ± 0.01
E/H Ratio	0.91 ± 0.06	1.01 ± 0.05	0.85 ± 0.05

Note. *, ** – the significance levels of differences in mean values are statistically significant according to the t-criterion in a pair comparison: *Polychrom_EBCs* and *Polychrom_RBCs*, *Polychrom_RBCs* and *RBCs*, respectively, at $p \leq 0.05$; $p \leq 0.01$.

Таблица 3

Морфоденситометрические параметры полихроматофильных эритробластов, полихроматофильных эритроцитов и зрелых эритроцитов бройлерных кур в постэмбриональном онтогенезе ($X \pm SEM$)

Биология и биотехнологии

Показатель	<i>Polychrom_EBCs</i>	<i>Polychrom_RBCs</i>	<i>RBCs</i>
<i>D_heterochromatin</i> ($n = 300$)	4,85 ± 0,35	4,51 ± 0,36	3,02 ± 0,20***
<i>D_min_heterochromatin</i>	0,02	0,12	0,14
<i>D_max_heterochromatin</i>	16,40	18,30	9,67
$P_{D_{heterochromatin-differ-min-max}} \%$	81,9 × 10 ³	15,15 × 10 ³	68,07 × 10 ³ ***
<i>D_euchromatin</i> ($n = 300$)	3,18 ± 0,28	1,85 ± 0,14***	2,67 ± 0,19***
<i>D_min_euchromatin</i>	0,05	0,07	0,07
<i>D_max_euchromatin</i>	12,50	6,14	8,73
$P_{D_{euchromatin-differ-min-max}} \%$	24,90 × 10 ³	86,71 × 10 ³ ***	12,37 × 10 ³ ***
<i>D_cytoplasm</i> ($n = 300$)	1,60 ± 0,12	0,97 ± 0,09***	1,24 ± 0,10
<i>D_min_cytoplasm</i>	0,03	0,01	0,01
<i>D_max_cytoplasm</i>	4,89	4,25	4,22
$P_{D_{cytoplasm-differ-min-max}} \%$	16,20 × 10 ³	42,40 × 10 ³ ***	42,10 × 10 ³
DECI	19,67 ± 1,63	55,39 ± 4,51***	30,28 ± 2,21***
ECMI	22,19 ± 1,29	9,66 ± 0,56***	16,09 ± 0,90***

Примечание. *** – уровень значимости различий средних значений статистически значим по *t*-критерию в парном сравнении: *Polychrom_EBCs* и *Polychrom_RBCs*, *Polychrom_RBCs* и *RBCs* соответственно при $p \leq 0,001$.

Table 3

Morpho-densitometric parameters of polychromatophilic erythroblasts, polychromatophilic erythrocytes and mature erythrocytes of broiler chickens in postembryonic ontogenesis ($X \pm SEM$)

Parameter	<i>Polychrom_EBCs</i>	<i>Polychrom_RBCs</i>	<i>RBCs</i>
<i>D_heterochromatin</i> ($n = 300$)	4.85 ± 0.35	4.51 ± 0.36	3.02 ± 0.20***
<i>D_min_heterochromatin</i>	0.02	0.12	0.14
<i>D_max_heterochromatin</i>	16.40	18.30	9.67
$P_{D_{heterochromatin-differ-min-max}} \%$	81.9 × 10 ³	15.15 × 10 ³	68.07 × 10 ³ ***
<i>D_euchromatin</i> ($n = 300$)	3.18 ± 0.28	1.85 ± 0.14***	2.67 ± 0.19***
<i>D_min_euchromatin</i>	0.05	0.07	0.07
<i>D_max_euchromatin</i>	12.50	6.14	8.73
$P_{D_{euchromatin-differ-min-max}} \%$	24.90 × 10 ³	86.71 × 10 ³ ***	12.37 × 10 ³ ***
<i>D_cytoplasm</i> ($n = 300$)	1.60 ± 0.12	0.97 ± 0.09***	1.24 ± 0.10
<i>D_min_cytoplasm</i>	0.03	0.01	0.01
<i>D_max_cytoplasm</i>	4.89	4.25	4.22
$P_{D_{cytoplasm-differ-min-max}} \%$	16.20 × 10 ³	42.40 × 10 ³ ***	42.10 × 10 ³
DECI	19.67 ± 1.63	55.39 ± 4.51***	30.28 ± 2.21***
ECMI	22.19 ± 1.29	9.66 ± 0.56***	16.09 ± 0.90***

Note: *** the significance level of differences in mean values are statistically significant according to the *t*- criterion in a pair comparison: *Polychrom_EBCs* and *Polychrom_RBCs*, *Polychrom_RBCs* and *RBCs*, respectively, at $p \leq 0.001$.

При созревании *Polychrom_RBCs* в зрелые эритроциты (*RBCs*) статистически значимо возрасла оптическая плотность эухроматина *RBCs* до 44,32 %, $p \leq 0,001$; и существенно снижалась оптическая плотность гетерохроматина *RBCs* до 33,04 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.1). Процент различия минимальных от максимальных значений оптической плотности у эухроматина *RBCs* снижался до 85,73 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.3). Процент различия минимальных от максимальных значений оптической плотности у гетерохроматина

RBCs повышался до 349,31%, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.3). Поэтому происходила существенная стабилизация структуры эухроматина *RBCs* и значительное уменьшение стабильности структуры гетерохроматина *RBCs*, в том числе факультативного гетерохроматина *RBCs*.

У цитоплазмы *RBCs* оптическая плотность и процент различия минимальных от максимальных значений статистически не изменялись (таблица 3, рис. 3.3). Соответственно, структура цитоплазмы *RBCs* стабилизировалась.

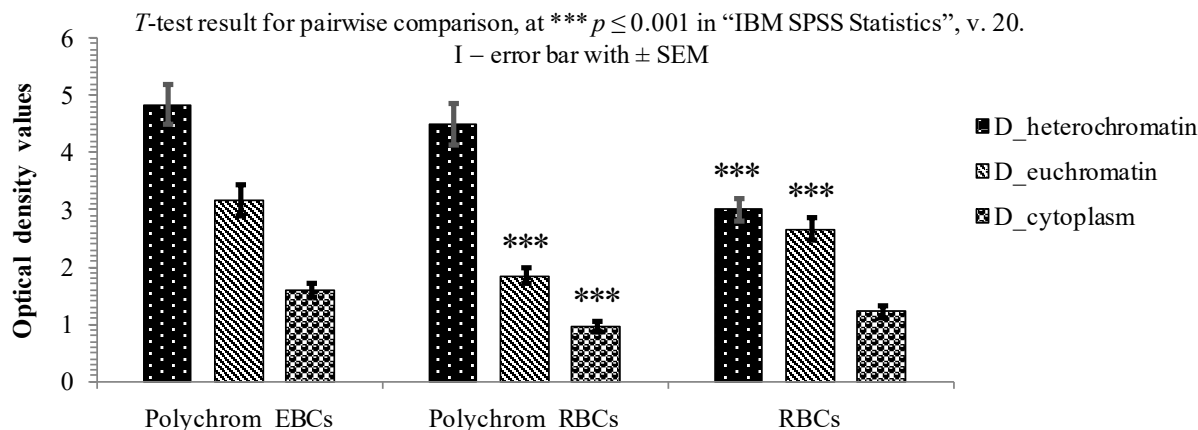


Рис. 3.1. Значения оптической плотности (D) гетерохроматина, эухроматина ядра и цитоплазмы полихроматофильных эритробластов (Polychrom_EBCs), полихроматофильных эритроцитов (Polychrom_RBCs) и зрелых эритроцитов (RBCs) в периферической крови бройлерных кур в раннем постэмбриональном онтогенезе. \pm SEM – стандартная ошибка средней

Fig. 3.1. Optical density (D) of heterochromatin, euchromatin of the nucleus and cytoplasm of polychromatophilic erythroblasts (Polychrom_EBCs), polychromatophilic red blood cells (Polychrom_RBCs) and mature red blood cells (RBCs) in the peripheral blood of broiler chickens in early postembryonic ontogenesis. \pm SEM – standard error of the mean

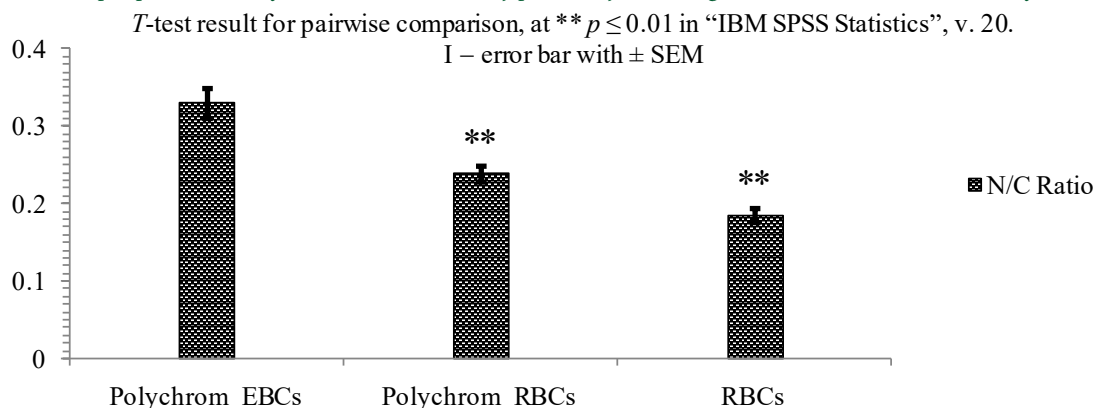


Рис. 3.2. Значения ядерно-цитоплазматического соотношения (ЯЦС) полихроматофильных эритробластов (Polychrom_EBCs), полихроматофильных эритроцитов (Polychrom_RBCs) и зрелых эритроцитов (RBCs) в периферической крови бройлерных кур в раннем постэмбриональном онтогенезе. \pm SEM – стандартная ошибка средней

Fig. 3.2. Nuclear-cytoplasmic ratio (N/C Ratio) of polychromatophilic erythroblasts (Polychrom_EBCs), polychromatophilic red blood cells (Polychrom_RBCs) and mature red blood cells (RBCs) in the peripheral blood of broiler chickens in early postembryonic ontogenesis. \pm SEM – standard error of the mean

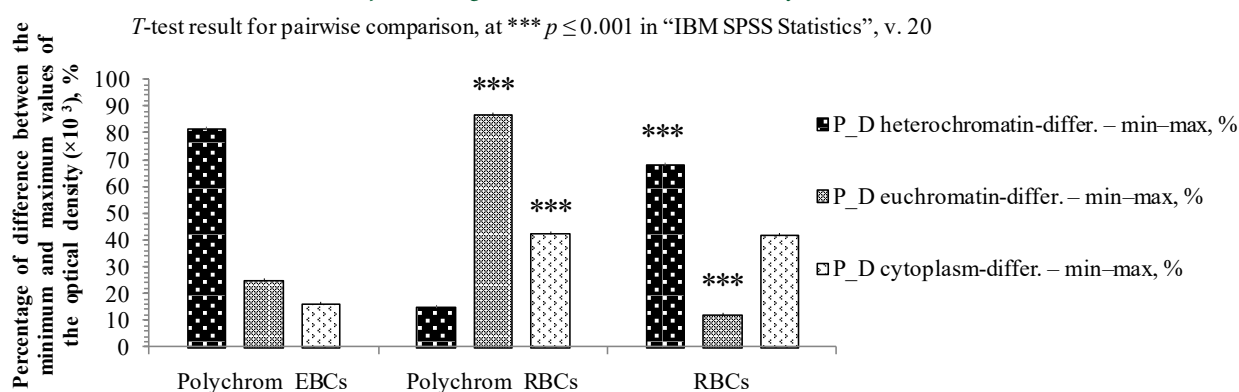


Рис. 3.3. Процент различия минимальных от максимальных значений P оптической плотности D ($\times 10^3$) (%) гетерохроматина, эухроматина ядра и цитоплазмы полихроматофильных эритробластов (Polychrom_EBCs), полихроматофильных эритроцитов (Polychrom_RBCs) и зрелых эритроцитов (RBCs) в периферической крови бройлерных кур в раннем постэмбриональном онтогенезе

Fig. 3.3. Percentage of difference between the minimum and maximum values P of the optical density D ($\times 10^3$) (%) of heterochromatin, euchromatin of the nucleus and cytoplasm of polychromatophilic erythroblasts (Polychrom_EBCs), polychromatophilic red blood cells (Polychrom_RBCs) and mature red blood cells (RBCs) in peripheral blood of broiler chickens in early postembryonic ontogenesis

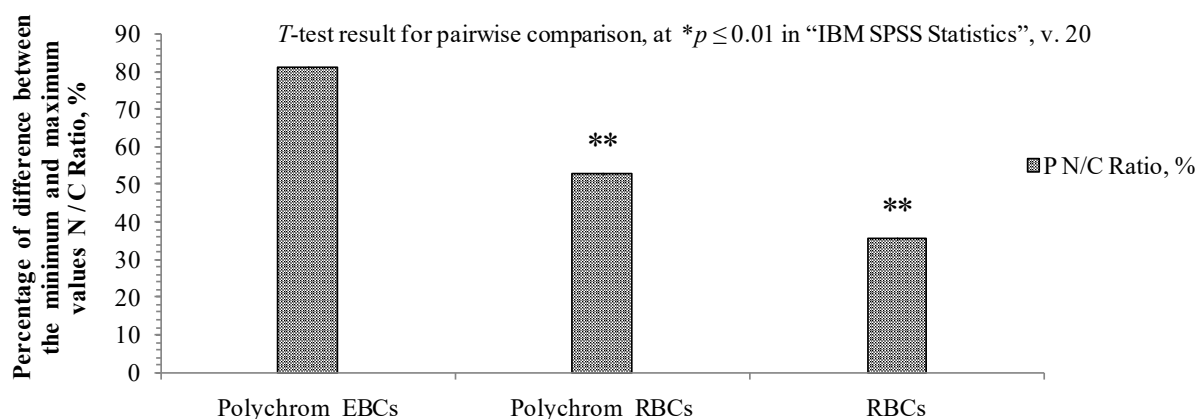


Рис. 3.4. Процент разницы минимальных от максимальных значений P ядерно-цитоплазматического соотношения N/C Ratio (%) полихроматофильных эритробластов (*Polychrom_EBCs*), полихроматофильных эритроцитов (*Polychrom_RBCs*) и зрелых эритроцитов (*RBCs*) в периферической крови бройлерных кур в раннем постэмбриональном онтогенезе

Fig. 3.4. Percentage of difference between the minimum and maximum values P of the nuclear-cytoplasmic ratio N/C Ratio (%) of polychromatophilic erythroblasts (*Polychrom_EBCs*), polychromatophilic red blood cells (*Polychrom_RBCs*) and mature red blood cells (*RBCs*) in the peripheral blood of broiler chickens in early postembryonic ontogenesis

Динамика величин ядерно-цитоплазматического соотношения у клеток эритроидного ряда имела статистически значимый нисходящий тренд. N/C Ratio у *Polychrom_RBCs* на 25,0 %, $p \leq 0,01$ меньше N/C Ratio для *Polychrom_EBCs*. N/C Ratio у *RBCs* на 25,0 %, $p \leq 0,01$ меньше N/C Ratio для *Polychrom_RBCs* (таблица 2, рис. 3.2). Аналогично с изменением N/C Ratio динамика процента разницы минимальных от максимальных значений N/C Ratio отличалась снижающимся трендом. Так, процент разницы минимальных значений N/C Ratio для *Polychrom_RBCs* от максимальных был на 34,84 %, $p \leq 0,01$ меньше, чем у *Polychrom_EBCs* (таблица 2, рис. 3.4). Процент разницы минимальных значений N/C Ratio для *RBCs* от максимальных был на 32,95 %, $p \leq 0,01$ меньше, чем у *Polychrom_RBCs* (таблица 2, рис. 3.4).

Статистически значимый прирост величины денситометрического эухроматинно-цитоплазматического индекса от полихроматофильных эритробластов к полихроматофильным эритроцитам составил 181,59 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.5), последующее снижение ДЭЦИ от полихроматофильных эритроцитов к зрелым эритроцитам составило 82,92 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.5).

Статистически достоверное снижение значения эухроматинно-цитоплазматического морфоденситометрического индекса от полихроматофильных эритробластов к полихроматофильным эритроцитам составило 129,71 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.6). Дальнейшее возрастание величины ЭЦМИ при созревании полихроматофильных эритроцитов в сформированные нормоциты составило 66,56 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.6).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Стехиометрические и оптикометрические изменения размеров и их соотношений у клеточных и субклеточных структур цитоплазмы и ядра клеток красного ростка происходили в зависимости от развития интенсивности синтетических нагрузок гемоглобиновой функции крови в ювенальном онтогенезе птиц. Структурно-функциональные изменения цитоплазмы и фракций хроматина у созревающих клеток эритроидного ряда отражаются в их физико-химическом статусе [8–10; 21; 47] и цитохимической окраске [2; 6; 15; 18–20; 30; 33; 41] (рис. 1.1–1.6).

Пигменты в составе цитологического протокола по Паппенгейму представляют собой красители, имеющие стабильный pH (водородный показатель). Так, эозин имеет кислую реакцию среды; азур, окислы азура и метиленовый синий имеют щелочную реакцию среды. В связи с этим в зависимости от плотности упаковки, пространственной локализации и реакции среды (pH), обусловленных функциональными нагрузками, неактивный гетерохроматин и синтетически активный эухроматин имели различную оптическую плотность и дифференцированное окрашивание (рис. 1.2, 1.4, 1.6).

Так, ядерный хроматин в целом состоит из дезоксирибонуклеиновой, рибонуклеиновой кислот, гистоновых октамеров и белковой оболочки. Строма (матрикс) ядра представлена в основном белковыми структурами.

Поэтому гетерохроматин и эухроматин получали дифференцированную окраску и оптическую плотность у предшественников эритроцитов и зрелых эритроцитов птиц. При этом в ядерном хроматине отмечались *хромоцентры* – участки с наиболее интенсивной окраской и физико-химической плотностью (рис. 1.2, 1.4, 1.6).

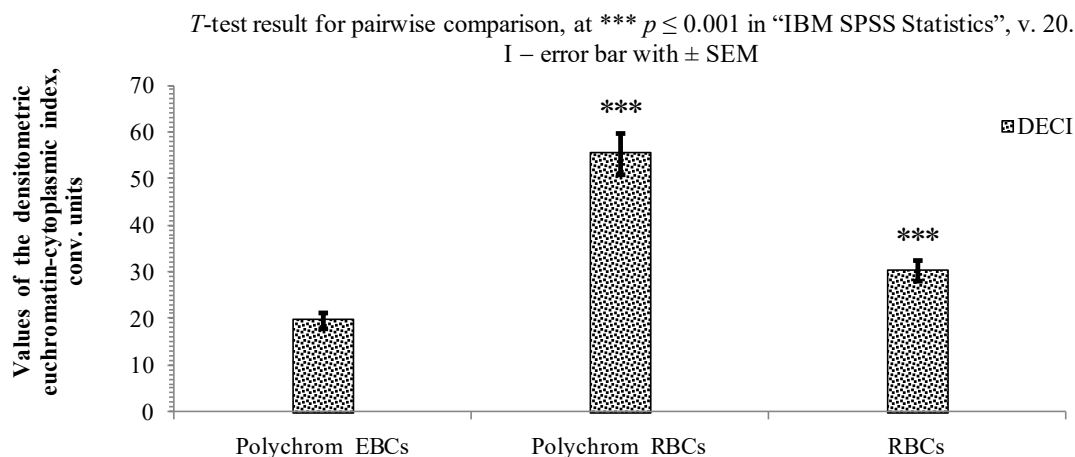


Рис. 3.5. Значения денситометрического эухроматин-цитоплазматического индекса (ДЭЦИ) (усл. ед.) полихроматофильных эритробластов (Polychrom_EBCs), полихроматофильных эритроцитов (Polychrom_RBCs) и зрелых эритроцитов (RBCs) в периферической крови бройлерных кур в раннем постэмбриональном онтогенезе. \pm SEM – стандартная ошибка средней

Fig. 3.5. Densitometric euchromatin-cytoplasmic index (DECI) (conv. units) of polychromatophilic erythroblasts (Polychrom_EBCs), polychromatophilic red blood cells (Polychrom_RBCs) and mature red blood cells (RBCs) in the peripheral blood of broiler chickens in early postembryonic ontogenesis. \pm SEM – standard error of the mean

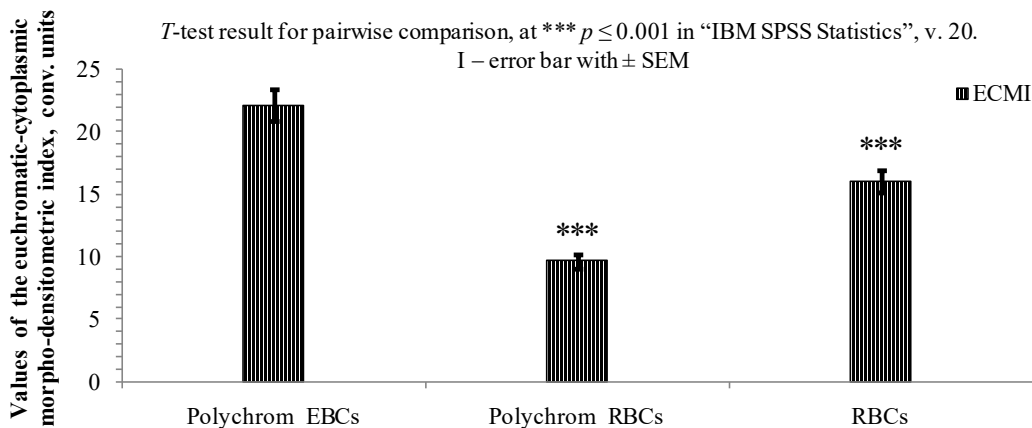


Рис. 3.6. Значения эухроматин-цитоплазматического морфоденситометрического индекса (ЭЦМИ) (усл. ед.) полихроматофильных эритробластов (Polychrom_EBCs), полихроматофильных эритроцитов (Polychrom_RBCs) и зрелых эритроцитов (RBCs) в периферической крови бройлерных кур в раннем постэмбриональном онтогенезе. \pm SEM – стандартная ошибка средней

Fig. 3.6. Euchromatic-cytoplasmic morpho-densitometric index (ECMI) (conv. units) of polychromatophilic erythroblasts (Polychrom_EBCs), polychromatophilic red blood cells (Polychrom_RBCs) and mature red blood cells (RBCs) in the peripheral blood of broiler chickens in early postembryonic ontogenesis. \pm SEM – standard error of the mean

Схожие механизмы окраски и оптической плотности реализовывались в цитоплазме эритроидных клеток в ходе их созревания. Поэтапный синтез гема, глобина, сборка и кумуляция гемоглобина в пространственно и динамично разобщенных клеточных и субклеточных структурах обуславливали различную окраску и оптическую плотность цитоплазмы у клеток эритроидного ряда – от оптически плотной базофильной цитоплазмы у полихроматофильных эритробластов (рис. 1.1) до полихроматофильной цитоплазмы с переменной оптической плотностью у полихроматофильных эритроцитов (рис. 1.3) и сравнительно оптически плотной цитоплазмы у зрелых эритроцитов птиц (рис. 1.5).

В раннем постэмбриональном онтогенезе птиц такие параметры хроматина, как величина оптической плотности, процент различия минимальных

от максимальных значений оптической плотности, отражают уровень стабильности структуры активных, конститутивных и факультативных фракций хроматина клеточного ядра в ходе эритропоэза.

Статистически значимый рост величины процента различия минимальных от максимальных значений оптической плотности эухроматина и цитоплазмы от полихроматофильных эритробластов к полихроматофильным эритроцитам был показателем уменьшения стабильности структуры эухроматина и цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов.

Учитывая установленный статистически значимый рост оптической плотности эухроматина и существенное снижение таковой у гетерохроматина, а также значимое снижение процента различия минимальных от максимальных значений оптической

ской плотности эухроматина и обратную ситуацию по гетерохроматину в ходе превращения полихроматофильных эритроцитов в зрелые эритроциты, возможно, констатировать для зрелых эритроцитов выраженную стабилизацию структуры эухроматина со значительным уменьшением стабильности структуры факультативного гетерохроматина.

Интересна тенденция сближения величин соотношения площади эухроматина к площади гетерохроматина (E/H Ratio), соотношения площади эухроматина к площади ядра (E/N Ratio) у *Polychrom_EBCs* и *RBCs* (таблица 2). В связи с этим обращает на себя внимание динамика процента различия минимальных от максимальных значений площади ядра с ростом от *Polychrom_EBCs* к *Polychrom_RBCs* и снижением у *RBCs* (таблица 2).

Данные тенденции E/H Ratio, E/N Ratio и процента различия минимальных от максимальных значений площади ядра хотя и не имеют статистически значимых различий, но подчеркивают изменчивость вовлеченности разных фракций хроматина в синтетических процессах.

Динамика процента различия минимальных от максимальных значений площади ядра акцентирует наибольшую синтетическую активность у *Polychrom_RBCs*.

Синхронное изменение у эритроидных клеток динамики N/C Ratio и процента различия минимальных от максимальных значений N/C Ratio характеризует высокий уровень взаимосвязи соотношения структуры ядра со структурой цитоплазмы.

Так как от полихроматофильных эритробластов к полихроматофильным эритроцитам и зрелым эритроцитам статистически значимо уменьшался процент различия N/C Ratio, следовательно, возрастал уровень структурно-функциональных взаимосвязей ядра и цитоплазмы у клеток эритроидного ряда – от полихроматофильных эритробластов к зрелым эритроцитам.

Индекс ДЭЦИ на денситометрическом уровне, согласно данным авторов [2; 5; 6; 15; 25; 27], связан с началом активного синтеза гемоглобина в цитоплазме полихроматофильных эритроцитов и его завершением в цитоплазме зрелых эритроцитов. Так, величина ДЭЦИ у *Polychrom_RBCs* возрастала до 181,59 %, $p \leq 0,001$, для *RBCs* ДЭЦИ снижался до 82,92 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.5).

Комплексный индекс ЭЦМИ на интегральном морфоденситометрическом уровне в соответствии с литературными данными [5; 6; 15; 25–27], связан со значительным снижением свободной рибонуклеиновой кислоты (RNA) в цитоплазме полихроматофильных эритроцитов. Снижение ЭЦМИ *Polychrom_RBCs* достигало 129,71 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.6) в связи с тем, что RNA обратнo связывалась протеидами в нуклеопротеиды ядра, которые имеют щелочную реакцию среды (pH).

Таким образом, цитохимическая реакция компонентов цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов с азуром и его солями в реакции окрашивания по схеме протокола Паппенгейма приводит к переходу базофильного синего цвета цитоплазмы (высокая концентрация свободных синтетически активных форм RNA [5–7; 25]), характерного для полихроматофильных эритробластов (рис. 1.1), к голубому окрашиванию цитоплазмы, свойственному полихроматофильным эритроцитам (рис. 1.3).

Фактически окрашивание цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов в голубой цвет объясняется тем, что, во-первых, значительно снижается концентрация RNA (связывается обратно ядерными нуклеопротеидами) в цитоплазме данных клеток; во-вторых, тем, что в цитоплазме полихроматофильных эритроцитов только начинается активный синтез собственно гемоглобина из гема от митохондрий и глобина, синтезируемого на рибосомах. Поэтому цитоплазма данных эритроцитов, с одной стороны, слабо воспринимает азур и его соли (почти уже нет свободных форм RNA), с другой, начальная низкая концентрация гемоглобина определяет невысокий уровень реакции с эозином.

В зрелых эритроцитах именно эозин (по протоколу Паппенгейма) как краситель с кислой реакцией среды (pH) окрашивает концентрированный щелочной гемоглобин в цитоплазме (рис. 1.5), рост величины индекса ЭЦМИ составил 66,56 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.6).

Результаты расчета индекса ДЭЦИ (в усл. ед.) показали, что при снижении оптической плотности ядерного эухроматина полихроматофильных эритроцитов до 71,89 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.1, 3.5) в сравнении с полихроматофильными эритробластами, соответственно, повышении регуляторной активности хроматина в синтезе компонентов гемоглобина и начале сборки молекул гемоглобина от полихроматофильных эритробластов к полихроматофильным эритроцитам, а также, при снижении оптической плотности цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов до 64,94 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.1) в сравнении с полихроматофильными эритробластами в связи с падением концентрации в цитоплазме активных форм RNA величины ДЭЦИ составляли 19,67–55,39 усл. ед. (таблица 3, рис. 3.5).

При росте оптической плотности ядерного эухроматина зрелых эритроцитов до 44,32 %, $p \leq 0,001$ в сравнении с полихроматофильными эритроцитами (таблица 3, рис. 3.1), соответственно, физиологическом снижении регуляторной активности дезоксирибонуклеиновой кислоты (DNA) хроматина в синтезе компонентов гемоглобина величины ДЭЦИ составляли 55,39–30,28 усл. ед. (таблица 3, рис. 3.5).

Результаты расчета комплексного индекса ЭЦМИ (в усл. ед.) показали, что при росте площа-

ди цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов до 26,28 %, $p \leq 0,05$ в сравнении с полихроматофильными эритроцитами (таблица 2) в связи с началом активного синтеза собственно молекул гемоглобина в цитоплазме полихроматофильных эритроцитов и при снижении оптической плотности эухроматина полихроматофильных эритроцитов до 71,89 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.1), а также при снижении оптической плотности цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов до 64,94 %, $p \leq 0,001$ (таблица 3, рис. 3.1) в сравнении с полихроматофильными эритроцитами в обеспечении гебоглобин-синтетических процессов величины ЭЦМИ составляли 22,19–9,66 усл. ед. (таблица 3, рис. 3.6).

При снижении площади эухроматина до 23,63 %, $p \leq 0,01$ (таблица 2) и росте оптической плотности эухроматина до 44,32 %, $p \leq 0,001$ зрелых эритроцитов (таблица 3, рис. 3.1), в сравнении с полихроматофильными эритроцитами. Соответственно, при компактизации *DNA* функционально-активного хроматина и перехода его в неактивное состояние в связи с завершением ядерной регуляции и синтеза собственно гемоглобина в зрелых эритроцитах величины ЭЦМИ составляли 9,66–16,09 усл. ед. (таблица 3, рис. 3.6).

Индекс ДЭЦИ представляет собой произведение значений оптической плотности: физиологически активной формы ядерного хроматина (эухроматина) и функционального выражения воздействия эухроматина, то есть структурной основы клетки – цитоплазмы клеток эритроидного ряда, отражающей ведущую функцию по синтезу газообменного и буферного белка гемоглобина.

При этом индекс ЭЦМИ интегрирует морфофункциональное соотношение ядерного хроматина и клетки в целом на основе произведения оптикометрической (оптической плотности) и геометрической (площади) величин эухроматина и цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов, полихроматофильных эритроцитов и зрелых эритроцитов.

Прикладное значение индексов ДЭЦИ и ЭЦМИ заключается в том, что произведения величин оптической концентрации и пространственного распространения активного хроматина ядра и структурной основы клетки – цитоплазмы – статистически достоверно отражают характер метаболической направленности, динамики и напряженности процесса синтеза гемоглобина клетками эритроидного ряда.

В частности, индексы ДЭЦИ и ЭЦМИ выражают физиологическую характеристику этапов синтеза гемоглобина (то есть синтеза гема в митохондриях, глобина на рибосомах в цитоплазме) под регуляцией ядерного эухроматина полихроматофильных эритроцитов.

Индексы ДЭЦИ и ЭЦМИ показывают активность стадий синтеза гемоглобина в цитоплазме по-

лихроматофильных эритроцитов в ядерной регуляции и цитоплазматической кумуляции гемоглобина, отражают прекращение синтеза гемоглобина в зрелых эритроцитах цыплят-бройлеров.

Поэтому применение индексов ДЭЦИ и ЭЦМИ возможно для изучения развития полиэтиологичной анемии.

Закономерности функций предшественников зрелых эритроцитов, а именно физиолого-биохимические взаимосвязи и их цитохимические реакции в стадиях синтеза гемоглобина полихроматофильными эритроцитами и эритроцитами, а также закономерности завершения синтеза гемоглобина и его накопления в цитоплазме зрелых эритроцитов включены в основу комплексного морфоденситометрического теста определения уровня синтетической активности полихроматофильных эритроцитов и эритроцитов, в частности, для определения статуса гемоглобин-синтезируемой функции клеток эритроидного ряда птиц в раннем постэмбриональном онтогенезе.

Расчет ДЭЦИ показал, что при снижении оптической плотности эухроматина полихроматофильных эритроцитов до 71,89 %, $p \leq 0,001$ в сравнении с полихроматофильными эритроцитами, снижении оптической плотности цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов до 64,94 %, $p \leq 0,001$ в сравнении с полихроматофильными эритроцитами величины ДЭЦИ составили 19,67–55,39 усл. ед. При росте оптической плотности эухроматина зрелых эритроцитов до 44,32 %, $p \leq 0,001$ в сравнении с полихроматофильными эритроцитами величины ДЭЦИ составили 55,39–30,28 усл. ед.

Расчет ЭЦМИ показал, что при росте площади цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов до 26,28 %, $p \leq 0,05$ в сравнении с полихроматофильными эритроцитами, снижении оптической плотности эухроматина полихроматофильных эритроцитов до 71,89 %, $p \leq 0,001$, снижении оптической плотности цитоплазмы полихроматофильных эритроцитов до 64,94 %, $p \leq 0,001$ в сравнении с полихроматофильными эритроцитами величины ЭЦМИ составили 22,19–9,66 усл. ед. При снижении площади эухроматина до 23,63 %, $p \leq 0,01$ и росте оптической плотности эухроматина до 44,32 %, $p \leq 0,001$ зрелых эритроцитов в сравнении с полихроматофильными эритроцитами величины ЭЦМИ составили 9,66–16,09 усл. ед.

Исследования синтетической активности полихроматофильных эритроцитов и эритроцитов птиц на основе объединенного изучения морфологических и денситометрических параметров хроматина ядра и цитоплазмы способствует автоматизации качественного и количественного анализа физиологической зрелости, обмена веществ эритроцитов, созревающих и зрелых эритроцитов птиц.

Библиографический список

1. Григорьев С. А., Попова Е. Ю. Средство подобию: механизмы самоассоциации и компартиментализации эукариотического хроматина // Молекулярная биология. 2019. № 53 (6). С. 933–953. DOI: 10.1134/S0026898419060053.
2. Хабарова А. А., Рыжкова А. С., Баттулин Н. Р. Реорганизация хроматина в процессе эритроидной дифференцировки // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23 (1). С. 95–99. DOI: 10.18699/VJ19.467.
3. Sanders T. J. et al. Extended Archaeal Histone-Based Chromatin Structure Regulates Global Gene Expression in *Thermococcus kodakarensis* // *Frontiers in Microbiology*. 2021. No. 12. Article number 681150. DOI: 10.3389/fmicb.2021.681150.
4. Ржепаковский И. В., Тимченко Л. Д., Писков С. И., Аванесян С. С., Сизоненко М. Н., Шахбанов М. Ш., Нагдалян А. А., Ребезов М. Б. Трехмерная рентгеновская микротомография сердца куриного эмбриона в раннем периоде эмбриогенеза // *Аграрная наука*. 2023. № 1 (10). С. 24–29. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-375-10-24-29.
5. Bell S. G. An introduction to hemoglobin physiology // *Neonatal Network*. 1999. No. 18 (2). Pp. 9–15. DOI: 10.1891/0730-0832.18.2.9.
6. Ponka P. et al. Erythropoiesis, Hemoglobin Synthesis, and Erythroid Mitochondrial Iron Homeostasis // In: *Handbook of Porphyrin Science: with Applications to Chemistry, Physics, Materials Science, Engineering, Biology and Medicine*. Santa Barbara: World Scientific, 2013. № 27. Pp. 41–84. DOI: 10.1142/9789814407755_0011.
7. Kumari A. Heme Synthesis (Chapter 8) // In: *Sweet Biochemistry: Remembering Structures, Cycles, and Pathways by Mnemonics*. London: Academic Press, Elsevier Science, 2018. Pp. 33–36. DOI: 10.1016/B978-0-12-814453-4.00008-X.
8. Ryzhkova A., Taskina A., Khabarova A., Fishman V., Battulin N. Erythrocytes 3D genome organization in vertebrates // *Scientific Reports*. 2021. No. 11 (1). Article number 4414. DOI: 10.1038/s41598-021-83903-9.
9. Низовцева Е. В., Герасимова Н. С., Студитский В. М. Влияние ацетилирования гистона H4 на дистанционные взаимодействия в хроматине // *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология*. 2019. № 74 (4). С. 308–312. DOI: 10.3103/S0096392519040114.
10. Takahata S., Murakami Y. Opposing Roles of FACT for Euchromatin and Heterochromatin in Yeast // *Biomolecules*. 2023. No. 13. Article number 377. DOI: 10.3390/biom13020377.
11. Gasparotto M., Lee Y.-S., Palazzi A., Vacca M., Filippini F. Nuclear and Cytoplasmic Players in Mitochondria-Related CNS Disorders: Chromatin Modifications and Subcellular Trafficking // *Biomolecules*. 2022. No. 12 (5). Article number 625. DOI: 10.3390/biom12050625.
12. Красикова А. В., Куликова Т. В. Распределение маркеров гетерохроматина в хромосомах типа ламповых щеток у птиц // *Генетика*. 2017. № 53 (9). С. 1077–1085. DOI: 10.7868/S0016675817090077.
13. Zhang Z., Zhang R., Xiao K., Sun X. G4Beacon: An In Vivo G4 Prediction Method Using Chromatin and Sequence Information // *Biomolecules*. 2023. No. 13 (2). Article number 292. <https://doi.org/10.3390/biom13020292>.
14. Gasser S. M. Visualizing Chromatin Dynamics in Interphase Nuclei. *Science*. 2002. No. 296 (5572). Pp. 1412–1416. DOI: 10.1126/science.1067703.
15. Yeo J. H., Lam Y. W., Fraser S. T. Cellular dynamics of mammalian red blood cell production in the erythroblastic island niche // *Biophysical Reviews*. 2019. No. 11 (6). Pp. 873–894. DOI: 10.1007/s12551-019-00579-2.
16. Мантейфель В. М., Кару Т. Й. Снижение компактизации конденсированного хроматина в лимфоцитах человека под влиянием низкоинтенсивного излучения He-Ne лазера // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2009. № (6). С. 654–661. DOI: 10.1134/S1062359009060028.
17. Антонова Е. И. [и др.] Особенности реорганизации хроматина ядер и показателей клеточного цикла гепатоцитов печени рыб после воздействия высокой внешней температуры [Электронный ресурс] // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. No. 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7469> (дата обращения: 05.09.2022).
18. Lehmann R. R., Nienhaus R. H., Dénes R. M., Steinbach T. Changes of euchromatin/heterochromatin ratios in cell nuclei of the aortic adventitia in diabetic rats // *Artery*. 1987. No. 14 (2). Pp. 66–75.
19. De la Iglesia Inigo S., Moreno-Carralero M.-I., Lemes-Castellano A., Molero-Labarta T., Méndez M., Morán-Jiménez M.-J. A case of congenital dyserythropoietic anemia type IV // *Clinical Case Reports*. 2017. No. 5 (3). Pp. 248–252. DOI: 10.1002/ccr3.825.
20. Kimura F. et al. Image quantification technology of the heterochromatin and euchromatin region for differential diagnosis in the lobular endocervical glandular hyperplasia // *Diagnostic Cytopathology*. 2019. No. 47 (6). DOI: 10.1002/dc.24155.
21. Schreier S., Budchart P., Borwornpinyo S., Arpornwirat W., Triampo W. Circulating erythroblast abnormality associated with systemic pathologies may indicate bone marrow damage // *Journal of Circulating Biomarkers*. 2021. No. 10. Pp. 14–19. DOI: 10.33393/jcb.2021.2220.

22. Гаспарян С. А., Попова О. С., Василенко И. А., Хрипунова А. А., Метелин В. Б. Оценка фенотипа интерфазных ядер лимфоцитов методом количественного фазового имиджинга (QPI) у пациенток с эндометриоидными кистами яичников // Альманах клинической медицины. 2017. № 45 (2). С. 109–117. DOI: 10.18786/2072-0505-2017-45-2-109-117.
23. Козовый Р. В., Перцович В. М., Ковальчук Л. Е., Багрий М. М. Анализ морфоденситометрические показатели состояния генома лимфоцитов периферической крови долгожителей Прикарпатья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 11 (2). С. 29–32.
24. Wickramasinghe S. N., Pippard M. J. Studies of erythroblast function in congenital dyserythropoietic anaemia, type I: evidence of impaired DNA, RNA, and protein synthesis and unbalanced globin chain synthesis in ultrastructurally abnormal cells // Journal of Clinical Pathology. 1986. No. 39 (8). Pp. 881–890. DOI: 10.1136/jcp.39.8.881.
25. Doty R. T., Phelps S. R., Shadle C., Sanchez-Bonilla M., Keel S. B., Abkowitz J. L. Coordinate expression of heme and globin is essential for effective erythropoiesis // The Journal of Clinical Investigation. 2015. No. 125 (12). Pp. 4681–4691. DOI: 10.1172/JCI83054.
26. Липунова Е. А., Скоркина М. Ю. Система красной крови: Сравнительная физиология. Белгород: Издательство Белгородского государственного университета, 2004. 216 с.
27. Гаврилов О. К. [и др.] Нормальное кроветворение и его регуляция / Под ред. Н. А. Федорова. Москва: Медицина, 1976. 543 с.
28. Rosse C., Trotter J.A. A Cytochemical and Radioautographic Analysis of Erythropoiesis at the Ultrastructural Level // American Journal of Anatomy. 1974. No. 141 (1). Pp. 41–72. DOI: 10.1002/aja.1001410104.
29. Yap K. N., Zhang Y. Revisiting the question of nucleated versus enucleated erythrocytes in birds and mammals // American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology. 2021. No. 321. Pp. 547–557. DOI: 10.1152/ajpregu.00276.2020.
30. Kolesnik E. A., Derkho M. A., Strizhikov V. K., Strizhikova S. V., Gizatullina F. G., Ponomaryova T. A. Differential morphophysiological characteristics of erythrocyte precursors and mature erythroid cells in early postnatal ontogenesis of birds // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. 2020. No. 14. Pp. 101–108. DOI: 10.46300/91011.2020.14.15.
31. Колесник Е. А., Дерхо М. А. Характеристика проблематики морфофизиологии клеток крови неонатального онтогенеза кур. Сообщение I. Особенности постэмбрионального кроветворения, различия в подходах и проблематика морфофункционального анализа крови птиц (обзор) // АПК России. 2019. № 26 (4). С. 637–643. DOI: 10.5281/zenodo.4385556.
32. Колесник Е. А., Дерхо М. А. Характеристика проблематики морфофизиологии клеток крови неонатального онтогенеза кур. Сообщение II. Характеристика дифференциальных морфофизиологических маркеров форменных элементов крови птиц // АПК России. 2019. № 26 (4). С. 644–652. DOI: 10.5281/zenodo.4385940.
33. Rothmann C., Cohen A. M., Malik Z. Chromatin Condensation in Erythropoiesis Resolved by Multipixel Spectral Imaging: Differentiation Versus Apoptosis // The Journal of Histochemistry & Cytochemistry. 1997. No. 45 (8). Pp. 1097–1108. DOI: 10.1177/002215549704500807.
34. Heidarian A., Yousefi E., Somma J. Digital Image Analysis of Nuclear Morphometry in Thyroid Fine Needle Biopsies // Journal of the American Society of Cytopathology. 2017. No. 6 (5). P. S76. DOI: 10.1016/j.jasc.2017.06.189.
35. Hidalgo D. T., Diaz Rojas P. A., Batista M. T., Anta A. S. La densidad óptica nuclear como indicador diagnóstico en el carcinoma papilar de tiroides [e-resource] // Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. 2020. No. 39 (3). URL: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002020000300013&lng=en&nrn=iso&tlng=es (date of reference: 14.09.2022).
36. Danukalo M. V., Melnikova O. V. Arterial hypertension as a predictor of morpho-densitometric changes development in rats' solitary-vagal complex // Journal of Education, Health and Sport. 2019. No. 9 (10). Pp. 132–142. DOI: 10.5281/zenodo.3497436.
37. Shalamay U., Voronych-Semchenko N., Kovalchuk L., Bagriy M. Peculiarities of Morphodensitometric Indices of Epitheliocytes of the Oral Cavity Mucous Membrane in Children with Latent Iron Deficiency and Mild Iodine Deficiency // Journal of Pharmacy and Pharmacology. 2020. No. 8. Pp. 18–23. DOI: 10.17265/2328-2150/2020.01.004.
38. Потапова С. Г. [и др.] Результаты компьютерной эритроцитометрии при макроцитарной анемии // Цитоморфометрия в медицине и биологии: фундаментальные и прикладные аспекты: материалы II Московской региональной научно-практической конференции (с международным участием). Москва, 2009. С. 69–71.
39. Мильто И. В., Шевцова Н. М., Иванова В. В., Серебрякова О. Н., Тахауов Р. М., Суходоло И. В. Гемопозитические клетки костного мозга крыс после внутривенного введения модифицированных хитозаном наночастиц магнетита // Цитология. 2020. № 62 (6). С. 418–427. DOI: 10.31857/S0041377120060061.

40. Глушен С. В., Иванова М. А., Гордиенко Н. С. Фрактальная площадь клеточного ядра в цитометрии опухолей щитовидной железы // Медицинский журнал. 2005. № 4 (14). С. 39–40.
41. Минашкина Т. А. Морфологическая характеристика эритроцитов при экспериментальном гипервитаминозе А // Морфология. 2011. № 139 (2). С. 41–44.
42. Ломановская Т. А., Боронихина Т. В., Яцковский А. Н. Изменения морфологии эритроцитов при передозировке ретинола пальмитата // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). 2020. № 4 (1). С. 46–51. DOI: 10.17116/operhirurg2020401146.
43. Wang Q., Wang J., Zhou M., Li Q., Wen Y., Chu J. A 3D attention networks for classification of white blood cells from microscopy hyperspectral images // Optics and Laser Technology. 2021. No. 139. Article number 106931. DOI: 10.1016/j.optlastec.2021.106931.
44. Каде М. А., Евлевский А. А., Галенко-Ярошевский П. А. Морфометрическая характеристика нейронов спинного мозга и спинальных ганглиев при субарахноидальном введении бупивакаина, мексидола и их сочетания // Кубанский научный медицинский вестник. 2009. № 8 (113). С. 44–48.
45. Могильная Г. М., Дурлештер В. М., Могильная В. Л. Сравнительная характеристика ядер эпителиоцитов пищевода Барретта в зоне «полей эффекта» при различных формах метаплазии // Кубанский научный медицинский вестник. 2013. № 1 (136). С. 125–127.
46. Hübner B. et al. Remodeling of nuclear landscapes during human myelopoietic cell differentiation maintains co-aligned active and inactive nuclear compartments // Epigenetics & Chromatin. 2015. No. 8 (47). DOI: 10.1186/s13072-015-0038-0.
47. Imai R. et al. Density imaging of heterochromatin in live cells using orientation-independent-DIC microscopy // Molecular Biology of the Cell. 2017. No. 28 (23). Pp. 3349–3359. DOI: 10.1091/mbc.E17-06-0359.
48. Kaminskyi V. Morphodensitometric features of peripheral blood lymphocytes in patients with primary glomerulonephritis // Nephrology Dialysis Transplantation. 2020. Vol. 35. Iss. Supplement_3. DOI: 10.1093/ndt/gfaa142.P0454.
49. Луценко М. Т. Динамика оптической плотности гемоглобина в эритроцитах периферической крови больных бронхиальной астмой // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2010. № 35. С. 29–30.
50. Ветровой О. В., Тюлькова Е. И., Стратилев В. А., Баранова К. А., Самойлов М. О. Особенности метилирования ДНК и гистона H3 в мозге крыс в ответ на тяжелую гипобарическую гипоксию и гипоксическое посткондиционирование // Цитология. 2019. № 61 (10). С. 837–844. DOI: 10.1134/S0041377119080078.
51. Тюлькова Е. И., Ватаева Л. А., Стратилев В. А., Барышева В. С., Ветровой О. В. Особенности метилирования ДНК и гистона H3 в гиппокампе и неокортексе крыс, переживших патологические воздействия в пренатальном периоде развития // Нейрохимия. 2020. № 37 (1). С. 64–74. DOI: 10.31857/S1027813320010197.
52. Белик И. А. Влияние высокой дозы тартразина на изменение ультрамикроскопических показателей селезенки и тимуса половозрелых крыс-самцов // Морфологический альманах имени В. Г. Ковешникова. 2020. № 18 (4). С. 6–12.
53. Owen J. C. Collecting, processing, and storing avian blood: a review // Journal of Field Ornithology. 2011. No. 82 (4). Pp. 339–354. DOI: 10.1111/j.1557-9263.2011.00338.x.
54. Mulisch M. Romeis Mikroskopische Technik. 19. Auflage / Edited by M. Mulisch, U. Welsch. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2015. 611 p. DOI: 10.1007/978-3-642-55190-1.
55. Markaki Y. Light Microscopy. Methods and protocols. Series: Methods in molecular biology / Edited by Y. Markaki, H. Harz. New York: Humana Press – Springer Protocols, 2017. 285 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-6810-7.
56. Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Репродуктивная биология *Platanthera bifolia* (L.) Rich. (Orchidaceae) на северной границе ареала (Республика Коми) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 38. С. 68–88. DOI: 10.17223/19988591/38/4.
57. Abushmmala F., Alhanjouri M. Colour Based Segmentation of Red Blood Cells using K-means and Image Morphological Operations // International Journal of Advanced and Innovative Research. 2013. No. 2 (11). Pp. 344–350.
58. Zhang C. et al. White Blood Cell Segmentation by Color-Space-Based K-Means Clustering // Sensors. 2014. No. 14. Pp. 16128–16147. DOI: 10.3390/s140916128.
59. Bailo O., Ham D.-S., Min Shin Y. Red blood cell image generation for data augmentation using Conditional Generative Adversarial Networks // arXiv:1901.06219v2 [cs.CV]. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1901.06219.
60. Дьяченко А. А., Рябухо В. П. Цветовые модели представления полихроматических интерференционных изображений тонких слоистых объектов в оптической микроскопии // Компьютерная оптика. 2019. № 43 (6). С. 956–967. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-6-956-967.

61. Соколова И. Б., Полинцев Д. Г. Эффективность применения мезенхимных стволовых клеток для улучшения микроциркуляции в коре головного мозга спонтанно гипертензивных крыс // Цитология. 2017. № 59 (4). С. 279–284.
62. Жукоцкий А. В., Строгалов А. С., Коган Э. М., Николаева Е. А., Анисимов М. П., Якубова Н. И. О проблеме объективизации цитологической диагностики с помощью оптоэлектронных систем (морфоденситометрический метод) // Интеллектуальные системы. 1998. № 3 (3-4). С. 233–250.
63. Chiarini-Garcia H. Light Microscopy. Methods and protocols. Series: Methods in molecular biology / Edited by H. Chiarini-Garcia, R. C. N. Melo. New York: Humana Press – Springer Protocols, 2011. 244 p. DOI: 10.1007/978-1-60761-950-5.

Об авторах:

Евгений Анатольевич Колесник¹, доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, ORCID 0000-0002-2326-651X, AuthorID 791884; +7 952 528-33-29, evgeniy251082@mail.ru

Марина Аркадьевна Дерхо², доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой естественно-научных дисциплин, ORCID 0000-0003-3818-0556, AuthorID 310613; +7 908 047-10-30, derkho2010@yandex.ru

Максим Борисович Ребезов^{3,4}, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник³, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов⁴, ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764; +7 999 900-23-65, rebezov@ya.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия

² Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

³ Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

⁴ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

References

1. Grigor'ev S. A., Popova E. Yu. Srodstvo podobiy: mekhanizmy samoassotsiatsii i kompartmentalizatsii eukarioticheskogo khromatina [Affinity of similarities: mechanisms of self-association and compartmentalization of eukaryotic chromatin] // Molecular biology. 2019. No. 53 (6). Pp. 933–953. DOI: 10.1134/S0026898419060053. (In Russian.)
2. Khabarova A. A., Ryzhkova A. S., Battulin N. R. Reorganizatsiya khromatina v protsesse eritroidnoy differentsirovki [Reorganization of chromatin in the process of erythroid differentiation] // Vavilov Journal of Genetics and Selection. 2019. No. 23 (1). Pp. 95–99. DOI: 10.18699/VJ19.467. (In Russian.)
3. Sanders T. J. et al. Extended Archaeal Histone-Based Chromatin Structure Regulates Global Gene Expression in *Thermococcus kodakarensis* // Frontiers in Microbiology. 2021. No. 12. Article number 681150. DOI: 10.3389/fmicb.2021.681150.
4. Rzhepakovskiy I. V., Timchenko L. D., Piskov S. I., Avanesyan S. S., Sizonenko M. N., Shakhbanov M. Sh., Nagdalyan A. A., Rebezov M. B. Trekhmernaya rentgenovskaya mikrotomografiya serdtsa kurinogo embriona v rannem periode embriogeneza [Three-dimensional X-ray microtomography of the heart of a chicken embryo in the early period of embryogenesis] // Agrarian Science. 2023. No. 1 (10). Pp. 24–29. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-375-10-24-29. (In Russian.)
5. Bell S. G. An introduction to hemoglobin physiology // Neonatal Network. 1999. No. 18 (2). Pp. 9–15. DOI: 10.1891/0730-0832.18.2.9.
6. Ponka P. et al. Erythropoiesis, Hemoglobin Synthesis, and Erythroid Mitochondrial Iron Homeostasis // In: Handbook of Porphyrin Science: with Applications to Chemistry, Physics, Materials Science, Engineering, Biology and Medicine. Santa Barbara: World Scientific, 2013. № 27. Pp. 41–84. DOI: 10.1142/9789814407755_0011.
7. Kumari A. Heme Synthesis (Chapter 8) // In: Sweet Biochemistry: Remembering Structures, Cycles, and Pathways by Mnemonics. London: Academic Press, Elsevier Science, 2018. Pp. 33–36. DOI: 10.1016/B978-0-12-814453-4.00008-X.
8. Ryzhkova A., Taskina A., Khabarova A., Fishman V., Battulin N. Erythrocytes 3D genome organization in vertebrates // Scientific Reports. 2021. No. 11 (1). Article number 4414. DOI: 10.1038/s41598-021-83903-9.
9. Nizovtseva E. V., Gerasimova N. S., Studitskiy V. M. Vliyanie atsetilirovaniya gistona N4 na distantsionnye vzaimodeystviya v khromatine [The influence of histone H4 acetylation on long-distance interactions in chromatin] // Herald of Moscow University. Series 16. Biology. 2019. No. 74 (4). Pp. 308–312. DOI: 10.3103/S0096392519040114. (In Russian.)

10. Takahata S., Murakami Y. Opposing Roles of FACT for Euchromatin and Heterochromatin in Yeast // *Biomolecules*. 2023. No. 13. Article number 377. DOI: 10.3390/biom13020377.
11. Gasparotto M., Lee Y.-S., Palazzi A., Vacca M., Filippini F. Nuclear and Cytoplasmic Players in Mitochondria-Related CNS Disorders: Chromatin Modifications and Subcellular Trafficking // *Biomolecules*. 2022. No. 12 (5). Article number 625. DOI: 10.3390/biom12050625.
12. Krasikova A. V., Kulikova T. V. Raspredelenie markerov geterokhromatina v khromosomakh tipa lampovyykh shchetok u ptits [Distribution of heterochromatin markers in lampbrush chromosomes in birds] // *Genetics*. 2017. No. 53 (9). Pp. 1077–1085. DOI: 10.7868/S0016675817090077. (In Russian.)
13. Zhang Z., Zhang R., Xiao K., Sun X. G4Beacon: An In Vivo G4 Prediction Method Using Chromatin and Sequence Information // *Biomolecules*. 2023. No. 13 (2). Article number 292. <https://doi.org/10.3390/biom13020292>.
14. Gasser S. M. Visualizing Chromatin Dynamics in Interphase Nuclei. *Science*. 2002. No. 296 (5572). Pp. 1412–1416. DOI: 10.1126/science.1067703.
15. Yeo J. H., Lam Y. W., Fraser S. T. Cellular dynamics of mammalian red blood cell production in the erythroblastic island niche // *Biophysical Reviews*. 2019. No. 11 (6). Pp. 873–894. DOI: 10.1007/s12551-019-00579-2.
16. Manteyfel' V. M., Karu T. Y. Snizhenie kompaktizatsii kondensirovannogo khromatina v limfotsitakh cheloveka pod vliyaniem nizkointensivnogo izlucheniya He-Ne lazera [Reduced compaction of condensed chromatin in human lymphocytes under the influence of low-intensity radiation from a He-Ne laser] // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series Biological*. 2009. No. 6. Pp. 654–661. DOI: 10.1134/S1062359009060028. (In Russian.)
17. Antonova E. I. et al. Osobennosti reorganizatsii khromatina yader i pokazateley kletochnogo tsikla gepatotsitov pecheni ryb posle vozdeystviya vysokoy vneshney temperatury [Features of nuclear chromatin reorganization and cell cycle indicators of fish liver hepatocytes after exposure to high external temperature] [e-resource] // *Modern Problems of Science and Education. Surgery*. 2012. No. 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7469> (date of reference: 05.09.2022). (In Russian.)
18. Lehmann R. R., Nienhaus R. H., Dénes R. M., Steinbach T. Changes of euchromatin/heterochromatin ratios in cell nuclei of the aortic adventitia in diabetic rats // *Artery*. 1987. No. 14 (2). Pp. 66–75.
19. De la Iglesia Inigo S., Moreno-Carralero M.-I., Lemes-Castellano A., Molero-Labarta T., Méndez M., Morán-Jiménez M.-J. A case of congenital dyserythropoietic anemia type IV // *Clinical Case Reports*. 2017. No. 5 (3). Pp. 248–252. DOI: 10.1002/ccr3.825.
20. Kimura F. et al. Image quantification technology of the heterochromatin and euchromatin region for differential diagnosis in the lobular endocervical glandular hyperplasia // *Diagnostic Cytopathology*. 2019. No. 47 (6). DOI: 10.1002/dc.24155.
21. Schreier S., Budchart P., Borwornpinyo S., Arpornwirat W., Triampo W. Circulating erythroblast abnormality associated with systemic pathologies may indicate bone marrow damage // *Journal of Circulating Biomarkers*. 2021. No. 10. Pp. 14–19. DOI: 10.33393/jcb.2021.2220.
22. Gasparyan S. A., Popova O. S., Vasilenko I. A., Khripunova A. A., Metelin V. B. Otsenka fenotipa interfaznykh yader limfotsitov metodom kolichestvennogo fazovogo imidzhinga (QPI) u patsientok s endometrioidnymi kistami yaichnikov [Evaluation of the phenotype of interphase nuclei of lymphocytes using the quantitative phase imaging (QPI) method in patients with endometrioid ovarian cysts] // *Almanac of Clinical Medicine*. 2017. No. 45 (2). Pp. 109–117. DOI: 10.18786/2072-0505-2017-45-2-109-117. (In Russian.)
23. Kozovyy R. V., Pertsovich V. M., Koval'chuk L. E., Bagriy M. M. Analiz morfodensitometricheskie pokazateley sostoyaniya genoma limfotsitov periferieskoy krovi dolgozhiteley Prikarpat'ya [Analysis of morphodensitometric indicators of the state of the genome of peripheral blood lymphocytes in long-livers of the Carpathian region] // *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2013. No. 11 (2). Pp. 29–32. (In Russian.)
24. Wickramasinghe S. N., Pippard M. J. Studies of erythroblast function in congenital dyserythropoietic anaemia, type I: evidence of impaired DNA, RNA, and protein synthesis and unbalanced globin chain synthesis in ultrastructurally abnormal cells // *Journal of Clinical Pathology*. 1986. No. 39 (8). Pp. 881–890. DOI: 10.1136/jcp.39.8.881.
25. Doty R. T., Phelps S. R., Shadle C., Sanchez-Bonilla M., Keel S. B., Abkowitz J. L. Coordinate expression of heme and globin is essential for effective erythropoiesis // *The Journal of Clinical Investigation*. 2015. No. 125 (12). Pp. 4681–4691. DOI: 10.1172/JCI83054.
26. Lipunova E. A., Skorkina M. Yu. Sistema krasnoy krovi: Sravnitel'naya fiziologiya [Red blood system: Comparative physiology]. Belgorod: Izdatel'stvo Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta 2004. 216 p. (In Russian.)
27. Gavrilov O. K. et al. Normal'noe krovetvorenie i ego regulyatsiya [Normal hematopoiesis and its regulation] / Ed. by N. A. Fedorova. Moscow: Meditsina, 1976. 543 p. (In Russian.)

28. Rosse C., Trotter J.A. A Cytochemical and Radioautographic Analysis of Erythropoiesis at the Ultrastructural Level // *American Journal of Anatomy*. 1974. No. 141 (1). Pp. 41–72. DOI: 10.1002/aja.1001410104.
29. Yap K. N., Zhang Y. Revisiting the question of nucleated versus enucleated erythrocytes in birds and mammals // *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*. 2021. No. 321. Pp. 547–557. DOI: 10.1152/ajpregu.00276.2020.
30. Kolesnik E. A., Derkho M. A., Strizhikov V. K., Strizhikova S. V., Gizatullina F. G., Ponomaryova T. A. Differential morphophysiological characteristics of erythrocyte precursors and mature erythroid cells in early postnatal ontogenesis of birds // *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*. 2020. No. 14. Pp. 101–108. DOI: 10.46300/91011.2020.14.15.
31. Kolesnik E. A., Derkho M. A. Kharakteristika problematiki morfofiziologii kletok krovi neonatal'nogo ontogeneza kur. Soobshchenie I. Osobennosti postembrional'nogo krovetvoreniya, razlichiya v podkhodakh i problematika morfofunktional'nogo analiza krovi ptits (obzor) [Characteristics of the problems of morphophysiology of blood cells of neonatal ontogenesis of chickens. Message I. Features of postembryonic hematopoiesis, differences in approaches and problems of morphofunctional analysis of bird blood (review)] // *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2019. No. 26 (4). Pp. 637–643. DOI: 10.5281/zenodo.4385556. (In Russian.)
32. Kolesnik E. A., Derkho M. A. Kharakteristika problematiki morfofiziologii kletok krovi neonatal'nogo ontogeneza kur. Soobshchenie II. Kharakteristika differentsial'nykh morfofiziologicheskikh markerov formennykh elementov krovi ptits [Characteristics of the problems of morphophysiology of blood cells of neonatal ontogenesis of chickens. Message II. Characteristics of differential morphophysiological markers of blood cells in birds] // *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2019. No. 26 (4). Pp. 644–652. DOI: 10.5281/zenodo.4385940. (In Russian.)
33. Rothmann C., Cohen A. M., Malik Z. Chromatin Condensation in Erythropoiesis Resolved by Multipixel Spectral Imaging: Differentiation Versus Apoptosis // *The Journal of Histochemistry & Cytochemistry*. 1997. No. 45 (8). Pp. 1097–1108. DOI: 10.1177/002215549704500807.
34. Heidarian A., Yousefi E., Somma J. Digital Image Analysis of Nuclear Morphometry in Thyroid Fine Needle Biopsies // *Journal of the American Society of Cytopathology*. 2017. No. 6 (5). P. S76. DOI: 10.1016/j.jasc.2017.06.189.
35. Hidalgo D. T., Diaz Rojas P. A., Batista M. T., Anta A. S. La densidad óptica nuclear como indicador diagnóstico en el carcinoma papilar de tiroides [e-resource] // *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2020. No. 39 (3). URL: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002020000300013&lng=en&nrn=iso&tlng=es (date of reference: 14.09.2022).
36. Danukalo M. V., Melnikova O. V. Arterial hypertension as a predictor of morpho-densitometric changes development in rats' solitary-vagal complex // *Journal of Education, Health and Sport*. 2019. No. 9 (10). Pp. 132–142. DOI: 10.5281/zenodo.3497436.
37. Shalamay U., Voronych-Semchenko N., Kovalchuk L., Bagriy M. Peculiarities of Morphodensitometric Indices of Epitheliocytes of the Oral Cavity Mucous Membrane in Children with Latent Iron Deficiency and Mild Iodine Deficiency // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2020. No. 8. Pp. 18–23. DOI: 10.17265/2328-2150/2020.01.004.
38. Potapova S. G. et al. Rezul'taty komp'yuternoy eritrotsitometrii pri makrotsitarnoy anemii [Results of computer erythrocytometry for macrocytic anemia] // *Tsitomorfometriya v meditsine i biologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty: materialy II Moskovskoy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii (c mezhdunarodnym uchastiem)*. Moscow, 2009. Pp. 69–71. (In Russian.)
39. Mil'to I. V., Shevtsova N. M., Ivanova V. V., Serebryakova O. N., Takhauov R. M., Sukhodolo I. V. Gemopoeticheskie kletki kostnogo mozga krysa posle vnutrivennogo vvedeniya modifitsirovannykh khitozanom nanochastits magnetite [Hematopoietic cells of rat bone marrow after intravenous administration of chitosan-modified magnetite nanoparticles] // *Cytology*. 2020. No. 62 (6). Pp. 418–427. DOI: 10.31857/S0041377120060061. (In Russian.)
40. Glushen S. V., Ivanova M. A., Gordienko N. S. Fraktal'naya ploshchad' kletchnogo yadra v tsitometrii opukholey shchitovidnoy zhelezy [Fractal area of the cell nucleus in cytometry of thyroid tumors] // *Meditsinskiy zhurnal*. 2005. No. 4 (14). Pp. 39–40. (In Russian.)
41. Minashkina T. A. Morfologicheskaya kharakteristika eritrotsitov pri eksperimental'nom gipervitaminoze A [Morphological characteristics of erythrocytes in experimental hypervitaminosis A] // *Morphology*. 2011. No. 139 (2). Pp. 41–44. (In Russian.)
42. Lomanovskaya T. A., Boronikhina T. V., Yatskovskiy A. N. Izmeneniya morfologii eritrotsitov pri peredozirovke retinola pal'mitata [Changes in the morphology of erythrocytes with an overdose of retinol palmitate] // *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy*. 2020. No. 4 (1). Pp. 46–51. DOI: 10.17116/operhirurg2020401146. (In Russian.)
43. Wang Q., Wang J., Zhou M., Li Q., Wen Y., Chu J. A 3D attention networks for classification of white blood cells from microscopy hyperspectral images // *Optics and Laser Technology*. 2021. No. 139. Article number 106931. DOI: 10.1016/j.optlastec.2021.106931.

44. Kade M. A., Evglevskiy A. A., Galenko-Yaroshevskiy P. A. Morfometricheskaya kharakteristika neyrov spinnoy mozga i spinal'nykh gangliov pri subarakhnoidal'nom vvedenii bupivakaina, meksidola i ikh sochetaniya [Morphometric characteristics of neurons of the spinal cord and spinal ganglia during subarachnoid administration of bupivacaine, Mexidol and their combinations] // *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2009. No. 8 (113). Pp. 44–48. (In Russian.)
45. Mogil'naya G. M., Durlshter V. M., Mogil'naya V. L. Sravnitel'naya kharakteristika yader epiteliotsitov pishchevoda Barretta v zone "poley efekta" pri razlichnykh formakh metaplazii [Comparative characteristics of the nuclei of epithelial cells of Barrett's esophagus in the zone of "effect fields" in various forms of metaplasia] // *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2013. No. 1 (136). Pp. 125–127. (In Russian.)
46. Hübner B. et al. Remodeling of nuclear landscapes during human myelopoietic cell differentiation maintains co-aligned active and inactive nuclear compartments // *Epigenetics & Chromatin*. 2015. No. 8 (47). DOI: 10.1186/s13072-015-0038-0.
47. Imai R. et al. Density imaging of heterochromatin in live cells using orientation-independent-DIC microscopy // *Molecular Biology of the Cell*. 2017. No. 28 (23). Pp. 3349–3359. DOI: 10.1091/mbc.E17-06-0359.
48. Kaminskyi V. Morphodensitometric features of peripheral blood lymphocytes in patients with primary glomerulonephritis // *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2020. Vol. 35. Iss. Supplement_3. DOI: 10.1093/ndt/gfaa142.P0454.
49. Lutsenko M. T. Dinamika opticheskoy plotnosti gemoglobina v eritrotsitakh perifericheskoy krovi bol'nykh bronkhial'noy astmoy [Dynamics of the optical density of hemoglobin in the erythrocytes of peripheral blood of patients with bronchial asthma] // *Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration*. 2010. No. 35. Pp. 29–30. (In Russian.)
50. Vetrovoy O. V., Tyul'kova E. I., Stratilov V. A., Baranova K. A., Samoylov M. O. Osobennosti metilirovaniya DNK i gistona N3 v mozge krysv v otvet na tyazheluyu gipobaricheskuyu gipoksiyu i gipoksicheskoe postkonditsionirovanie [Features of DNA methylation and histone H3 in the brain of rats in response to severe hypobaric hypoxia and hypoxic postconditioning] // *Cytology*. 2019. No. 61 (10). Pp. 837–844. DOI: 10.1134/S0041377119080078. (In Russian.)
51. Tyul'kova E. I., Vataeva L. A., Stratilov V. A., Barysheva V. S., Vetrovoy O. V. Osobennosti metilirovaniya DNK i gistona N3 v gippokampe i neokortekse krysv, perezhivshikh patologicheskie vozdeystviya v prenatal'nom periode razvitiya [Features of DNA methylation and histone H3 in the hippocampus and neocortex of rats that survived pathological influences in the prenatal period of development] // *Neyrokhiymiya*. 2020. No. 37 (1). Pp. 64–74. DOI: 10.31857/S1027813320010197. (In Russian.)
52. Belik I. A. Vliyanie vysokoy dozy tartrazina na izmenenie ul'tramikroskopicheskikh pokazateley selezenki i timusa polovozrelykh krysv-samtsov [Effect of a high dose of tartrazine on changes in ultramicroscopic parameters of the spleen and thymus of mature male rats] // *Morfologicheskii al'manakh imeni V. G. Koveshnikova*. 2020. No. 18 (4). Pp. 6–12. (In Russian.)
53. Owen J. C. Collecting, processing, and storing avian blood: a review // *Journal of Field Ornithology*. 2011. No. 82 (4). Pp. 339–354. DOI: 10.1111/j.1557-9263.2011.00338.x.
54. Mulisch M. *Romeis Mikroskopische Technik*. 19. Auflage / Edited by M. Mulisch, U. Welsch. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2015. 611 p. DOI: 10.1007/978-3-642-55190-1.
55. Markaki Y. *Light Microscopy. Methods and protocols*. Series: Methods in molecular biology / Edited by Y. Markaki, H. Harz. New York: Humana Press – Springer Protocols, 2017. 285 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-6810-7.
56. Kirillova I. A., Kirillov D. V. Reproktivnaya biologiya *Platanthera bifolia* (L.) Rich. (Orchidaceae) na severnoy granitse areala (Respublika Komi) [Reproductive biology of *Platanthera bifolia* (L.) Rich. (Orchidaceae) on the northern border of the range (Komi Republic)] // *Tomsk State University Journal of Biology*. 2017. No. 38. Pp. 68–88. DOI: 10.17223/19988591/38/4. (In Russian.)
57. Abushmala F., Alhanjouri M. Colour Based Segmentation of Red Blood Cells using K-means and Image Morphological Operations // *International Journal of Advanced and Innovative Research*. 2013. No. 2 (11). Pp. 344–350.
58. Zhang C. et al. White Blood Cell Segmentation by Color-Space-Based K-Means Clustering // *Sensors*. 2014. No. 14. Pp. 16128–16147. DOI: 10.3390/s140916128.
59. Bailo O., Ham D.-S., Min Shin Y. Red blood cell image generation for data augmentation using Conditional Generative Adversarial Networks // *arXiv:1901.06219v2 [cs.CV]*. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1901.06219.
60. D'yachenko A. A., Ryabukho V. P. Tsvetovye modeli predstavleniya polikhromaticheskikh interferentsionnykh izobrazheniy tonkikh sloistykh ob'ektov v opticheskoy mikroskopii [Color models for representing polychromatic interference images of thin layered objects in optical microscopy] // *Computer Optics*. 2019. No. 43 (6). Pp. 956–967. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-6-956-967. (In Russian.)

61. Sokolova I. B., Polyntsev D. G. Effektivnost' primeneniya mezenkhimnykh stvolovykh kletok dlya uluchsheniya mikrotsirkulyatsii v kore golovnogo mozga spontanno gipertenzivnykh kryss [Efficiency of using mesenchymal stem cells to improve microcirculation in the cerebral cortex of spontaneously hypertensive rats] // Cytology. 2017. No. 59 (4). Pp. 279–284. (In Russian.)
62. Zhukotskiy A. V., Strogalov A. S., Kogan E. M., Nikolaeva E. A., Anisimov M. P., Yakubova N. I. O probleme ob'ektivizatsii tsitologicheskoy diagnostiki s pomoshch'yu optoelektronnykh sistem (morfodensitometricheskoy metod) [About the problem of objectification of cytological diagnostics using optoelectronic systems (morphodensitometric method)] // Intelligent systems. 1998. No. 3 (3-4). Pp. 233–250. (In Russian.)
63. Chiarini-Garcia H. Light Microscopy. Methods and protocols. Series: Methods in molecular biology / Edited by H. Chiarini-Garcia, R. C. N. Melo. New York: Humana Press – Springer Protocols, 2011. 244 p. DOI: 10.1007/978-1-60761-950-5.

Autors' information:

Evgeniy A. Kolesnik¹, doctor of biological sciences, professor of the department of physiology, ethology and biochemistry of animals, ORCID 0000-0002-2326-651X, AuthorID 791884; +7 952 528-33-29, evgeniy251082@mail.ru

Marina A. Derkho², doctor of biological sciences, professor, head of the department of natural sciences, ORCID 0000-0003-3818-0556, AuthorID 310613; +7 908 047-10-30, derkho2010@yandex.ru

Maksim B. Rebezov^{3,4}, doctor of agricultural sciences, candidate of veterinary sciences, professor, chief researcher³, professor of the department of biotechnology and food products⁴, ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764; +7 999 900-23-65, rebezov@ya.ru

¹Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia

²South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

³V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Фенотипическая изменчивость селекционных линий чечевицы (*Lens culinaris* L.) по элементам семенной продуктивности в экологических условиях Омской области

Т. В. Маракаева ✉

Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия

✉ E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Аннотация. В статье приведены результаты изучения основных элементов семенной продуктивности (число и масса семян с растения, масса 1000 семян) у 15 селекционных линий чечевицы поколений F₆₋₇, полученных от межвидовых скрещиваний сортов Аида (Россия), Веховская (Россия), Восточная (Россия) и Шырайлы (Казахстан). **Цель исследования** – изучить фенотипическую изменчивость селекционных линий чечевицы по элементам структуры урожая и отобрать ценные генотипы в качестве источников продуктивности для создания адаптированных к условиям региона сортов. **Методы.** Фенотипирование селекционного материала проведено в полевых и лабораторных условиях 2020–2022 гг. на учебно-опытном поле Омского государственного аграрного университета. В период изучения сложились очень засушливые климатические условия в 2020 г. (ГТК = 0,62) и 2021 г. (ГТК = 0,68), слабозасушливые – в 2022 г. (ГТК = 1,02). Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесуглистая (45 см) малогумусная (3,95 % гумуса) среднесуглистая (35 % физической глины) с реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной (рН = 6,5). Предшественник – яровая мягкая пшеница. **Результаты.** В итоге установлено, что из 15 линий только 11 показывают стабильную семенную продуктивность в любых погодных условиях и относятся к интенсивному типу возделывания, а 4 характеризуются как нестабильные и полунтенсивного типа. На изменчивость числа семян с растения значительное влияние оказывает генотипические особенности селекционной линии (42,8 %). Фенотипическая изменчивость массы семян с растения обусловлена условиями произрастания сельскохозяйственной культуры (40,3 %), а массы 1000 семян — взаимодействием двух факторов одновременно (57,0 %). Методом анализа главных компонент изученные селекционные линии разделены на три основных кластера по типу стабильности и интенсивности. **Научная новизна.** На основании проведенных исследований были отобраны ценные генотипы, которые будут использованы в качестве источников семенной продуктивности при дальнейшей селекции и создании новых адаптированных высокоурожайных сортов чечевицы регионе.

Ключевые слова: *Lens culinaris*, чечевица, линия, элементы продуктивности, экологическая пластичность.


Для цитирования: Маракаева Т. В. Фенотипическая изменчивость селекционных линий чечевицы (*Lens culinaris* L.) по элементам семенной продуктивности в экологических условиях Омской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 86–97. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-86-97.

Дата поступления статьи: 13.06.2023, **дата рецензирования:** 10.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

Phenotypic variability of breeding lines of lentils (*Lens culinaris* L.) according to the elements of seed productivity in the ecological conditions of the Omsk region

T. V. Marakaeva 

Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia

 E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Abstract. The article presents the results of studying the main elements of seed productivity (number and weight of seeds per plant, weight of 1000 seeds) in 15 breeding lines of F6-7 generations of lentils obtained from interspecific crossings of varieties Aida (Russia), Vekhovskaya (Russia), Vostochnaya (Russia) and Shyrayly (Kazakhstan). **The purpose** of the study is to study the phenotypic variability of lentil breeding lines according to the elements of the crop structure and select valuable genotypes as sources of productivity to create varieties adapted to the conditions of the region. **Methods.** Phenotyping of the breeding material was carried out in the field and laboratory conditions in 2020–2022 at the training and experimental field of the Omsk State Agrarian University. During the study period, very dry climatic conditions developed in 2020 (HTC = 0.62) and 2021 (HTC = 0.68), slightly dry – in 2022 (HTC=1.02). The soil of the experimental plot is meadow-chernozem, medium-thick (45 cm), low-humus (3.95 % of humus), medium loamy (35 % of physical clay) with a soil solution reaction close to neutral (pH = 6.5). The predecessor is spring soft wheat. **Results.** As a result, it was found that out of 15 lines, only 11 show stable seed productivity in all weather conditions and belong to the intensive type of cultivation, and 4 are characterized as unstable and semi-intensive type. The variability of the number of seeds per plant is significantly affected by the genotypic features of the breeding line (42.8 %). The phenotypic variability of the weight of seeds per plant is due to the conditions of growth of the agricultural crop (40.3 %), and the weight of 1000 seeds is due to the interaction of two factors simultaneously (57.0 %). By the method of principal component analysis, the studied breeding lines are divided into three main clusters according to the type of stability and intensity. **Scientific novelty.** Based on the research, valuable genotypes were selected that will be used as sources of seed productivity in further breeding and the creation of new adapted, high-yielding varieties of lentils in the region.

Keywords: *Lens culinaris*, lentil, line, productivity elements, ecological plasticity.

For citation: Marakaeva T. V. Fenotipicheskaya izmenchivost' selektsionnykh liniy chechevitsy (*Lens culinaris* L.) po elementam semenno-y produktivnosti v ekologicheskikh usloviyakh Omskoy oblasti [Phenotypic variability of breeding lines of lentils (*Lens culinaris* L.) according to the elements of seed productivity in the ecological conditions of the Omsk region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 86–97. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-86-97. (In Russian.)

Date of paper submission: 13.06.2023, **date of review:** 10.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Чечевица благодаря значительному содержанию легкоусвояемого белка считается ценной продовольственной культурой, составляющей основу питания многих доисторических цивилизаций [1, с. 382]. Культура уникальна своим биохимическим составом (например, по содержанию железа ей нет равных) и может составлять основу повседневного рациона человека. По питательности чечевица сравнима с хлебом и крупами. В ее составе мало жира, поэтому она популярна среди спортсменов и тех, кто следит за фигурой, вегетарианцев (разрешается употреблять в пищу во время поста). В состав белка чечевицы входят почти все незаменимые аминокислоты (например, лецитин), а также витамины группы В. Именно поэтому она реко-

мендована в лечебном и детском питании [2, с. 38]. Особо ценное свойство культуры в том, что она не накапливает в себе никаких вредных или токсичных элементов (нитратов, радионуклидов и пр.). В связи с этим в какой бы части земного шара ее ни выращивали, она все равно считается экологически чистым продуктом [3, с. 5].

Помимо высокого потребительского достоинства, чечевица имеет и большое агротехническое значение и считается лучшим предшественником для многих сельскохозяйственных культур, так как обогащает почву азотом, углеродом и органическими веществами. Поэтому введение этой культуры в систему посевных площадей актуально и рентабельно в эпоху современного органического сельского хозяйства [4, с. 124].

Сейчас чечевица является одной из самых распространенных возделываемых зернобобовых культур. Ее выращивают более чем в 50 странах мира. Мировой лидер по посевным площадям – Канада. Кроме нее, основными производителями чечевичного зерна считаются Индия и Турция [5, с. 100]. В Российской Федерации выращивание чечевицы является важной частью посевного и зернового комплекса, поскольку при этом решается проблема обеспечения населения высококачественными продуктами питания, а животных – кормами [6, с. 68]. На сегодняшний день Россия входит в тройку лидеров по производству зерна чечевицы [7, с. 187]. Сибирский федеральный округ – основной производитель зерна в России (62,5 тыс. га – 45,6 % всех посевов), при этом до 20 % посевных площадей культуры приходится на Омскую область (более 25 тыс. га) [8, с. 142]. За последние пять лет в стране резко возросла урожайность, а соответственно, и валовой сбор зерна [9, с. 78]. Но несмотря на тенденцию повышения урожайности, отмечается значительное ее варьирование по годам. В целом по стране за пять лет отмечены существенные колебания урожайности чечевицы: 9,1–19,5 ц/га [10, с. 1921].

К тому же возросший интерес производителей сельскохозяйственной продукции сдерживается тем, что районированные в регионе сорта чечевицы не отвечают производственным требованиям. Они менее конкурентоспособные, малоурожайные и низкотехнологичные [11, с. 451]. Это связано с биологическими особенностями культуры: тонкостебельность и сильная ветвистость вызывают полегание растений. Сочетание этих признаков с низким прикреплением первых бобов, неравномерным созреванием, растрескиванием бобов и осыпанием семян приводит к ощутимым потерям урожая во время уборки. В растениеводстве общеизвестны слабая конкурентоспособность по отношению к сорной растительности и низкая толерантность к гербицидам чечевицы, что затрудняет разработку оптимальной технологии возделывания культуры в регионе [12, с. 111].

Решением этой проблемы является создание сортов нового поколения, адаптированных к биотическим и абиотическим факторам среды и максимально соответствующих запросам современного сельскохозяйственного производства [13, с. 3]. В последнее десятилетие отечественные селекционеры уделяют большое внимание изучению чечевицы, а основными векторами селекции выбирают высокую и стабильную продуктивность, засухоустойчивость и технологичность. Их целью является создание красnoseмянных сортов с высокой семенной продуктивностью, равномерным созреванием, устойчивых к растрескиванию бобов и осыпанию семян в сочетании с товарной ценностью (крупными светлыми, не буреющими при варке и длитель-

ном хранении семенами с высоким содержанием белка) [14].

Наиболее распространенным методом создания нового исходного селекционного материала является гибридизация между различными сортами и подвидами, простые и сложные скрещивания с использованием форм, обладающих хозяйственно ценными признаками [15, с. 101].

Основой улучшения имеющихся сортов является генотип сорта. В современной науке достигнут значительный прогресс в изучении хозяйственно-ценных признаков чечевицы на уровне генотипа. Однако реализация генетического потенциала сельскохозяйственных культур в значительной степени зависит от факторов внешней среды. В связи с этим на определенных этапах селекционного процесса необходимо проводить оценку фенотипической пластичности и адаптивности полученных новых форм в экологических условиях исследования [16, с. 43].

В Омском ГАУ для расширения генетического разнообразия чечевицы сформирована признаковая коллекция, включающая образцы различных эколого-географических групп. Ежегодно проводится изучение коллекционных образцов по важнейшим качественным и количественным признакам, выделяются генетические источники и доноры хозяйственно ценных признаков и свойств. В результате внутривидовой гибридизации и дальнейшего отбора созданы селекционные линии с комплексом хозяйственно ценных признаков [17, с. 75].

Цель исследований – изучить фенотипическую изменчивость селекционных линий чечевицы по элементам структуры урожая и отобрать ценные генотипы в качестве источников продуктивности для создания адаптированных к условиям региона сортов.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследовательская работа выполнялась в полевых условиях Омской области (2020–2022 гг.). В последние годы в регионе отмечается тенденция повышения среднесуточной температуры воздуха. Сумма активных температур (выше 10 °С) за вегетационный период в 2020 г. составила 2045 °С, 2021 г. – 2238 °С, 2022 г. – 2488 °С. Осадков в 2020 г. выпало 155,3 мм (70,6 % от нормы), в 2021 г. – 166,0 мм (75,4 % от нормы), в 2022 г. – 287,6 мм (130,72 % от нормы). Гидротермический коэффициент, характеризующий обеспеченность растений влагой, указывает на очень засушливые условия в 2020 г. (ГТК = 0,62) и 2021 г. (ГТК = 0,68), слабозасушливые – в 2022г. (ГТК = 1,02). Почва опытного участка лугово-черноземная среднесуглинистая (45 см) малогумусная (3,95 % гумуса) среднесуглинистая (35 % физической глины) с реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной (рН = 6,5). Структурное состояние почвы хорошее (содержание агрегатов 0,25–10 мм после сухого посева – 71 %), комковатая (агрегаты мельче 0,25 мм – 15 %), тип

сложения – плотная ($d_v = 1,18 \text{ г/см}^3$) Предшественник – яровая мягкая пшеница. В опыте использовали ручной посев во второй декаде мая, площадь делянки – 5 м^2 , без повторностей, расстояние между рядками – 25 см , растениями – 15 см , размещение делянок – систематическое, глубина заделки семян – 5 см . Исследования проводили на 15 селекционных линиях чечевицы поколений F_{6-7} , полученных от скрещивания сортов Аида (Россия), Веховская (Россия), Восточная (Россия) и Шырайлы (Казахстан). Линии отобраны по комплексу хозяйственно ценных признаков в поколения F_{3-5} и размножены до поколений F_{6-7} . Уборка проведена вручную при созревании 75% бобов на растении в снопы для дальнейшего дозаривания. Структурный анализ выполнен в лабораторных условиях у 20 растений каждой селекционной линии по основным элементам семенной продуктивности: число семян с растения, масса семян с растения, масса 1000 семян. Фенологические наблюдения и учеты проведены в соответствии с действующими методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур. Статистическая обработка полученных результатов полевых и лабораторных исследований проведена по методике Б. А. Доспехова и состояла из нахождения минимальных (min), максимальных (max) и средних значений (M) признака, стандартной ошибки средней ($\pm SEM$). Достоверность различий признаков оценивали по общепринятой методике по наименьшей существенной разности при уровне значимости 5% (HC_{05}) с использованием прикладных статистических программ MS Excel 2016. Параметры экологической пластичности селекционных линий определены согласно действующей методике Р. А. Удачина и А. П. Головченко. Двухфакторный дисперсионный анализ проведен в программе STATISTICA v. 10.0 (StatSoft, Inc., США), анализ методом главных компонент – в программе PAST v. 3.15.

Результаты (Results)

Территория Сибирского федерального округа считается зоной рискованного земледелия. Все чаще наблюдаются экстремально теплые зимы, повышение температуры воздуха, летние засухи или же, наоборот, слишком частые дожди. Все это приводит к глобальному изменению климата и увеличивает риск производителей к возделыванию сельскохозяйственных культур [18, с. 117].

Чечевица наиболее продуктивна при ее выращивании в условиях умеренно теплой погоды, средней за период вегетации температуре воздуха $15\text{--}18 \text{ }^\circ\text{C}$ и сумме осадков за период от всходов до созревания $100\text{--}180 \text{ мм}$ [19, с. 44]. Погодные условия периода вегетации в годы исследований (2020–2022) были различными и отличались от среднесезонных. Подходящие условия периода образования бобов в 2021 г. благоприятно отразились на завязывании

семян. Поэтому именно в этот год отмечено наибольшее число семян с растения у всех селекционных линий чечевицы ($40\text{--}106$ шт.). В среднем данный показатель составил $57,4$ шт. (таблица 1). Наибольшее значение отмечено у линий, полученных от скрещивания Восточная (Россия) \times Шырайлы (Казахстан) № 12 (106 шт.), № 14 (80 шт.), и № 15 (80 шт.). В последующие годы погодные условия ухудшились за счет обильного количества осадков. Крайне неблагоприятными условия сложились в 2022 г. Обильные осадки ($287,6 \text{ мм}$) негативно повлияли на вегетацию чечевицы, что привело к снижению числа семян с растения до $32,80 \text{ г}$ (в среднем). Наиболее продуктивными в этом году оказались селекционные линии, полученные от скрещивания Аида (Россия) \times Веховская (Россия) № 3 ($49,0$ шт.) и Восточная (Россия) \times Шырайлы (Казахстан) № 15 ($46,0$ шт.).

Еще одним важным показателем при селекции чечевицы на высокую продуктивность является масса семян с растения. Многие ученые утверждают, что семенная продуктивность сельскохозяйственных культур определяется именно массой семян с одного растения, поэтому данный показатель является важнейшим хозяйственно ценным признаком. По данным Н. Корсакова, количество бобов на одном растении также является относительным показателем при характеристике его продуктивности и применяется в пределах образцов с одинаковой величиной семян, так как масса 1000 семян и число семян в бобе имеют широкий диапазон варьирования. Поэтому во всех других случаях при определении продуктивности растения пользуются показателем массы семян с одного растения [20, с. 163]. Засушливые условия второй половины вегетационного периода 2020 г. благоприятно сказались на созревании растений, а в итоге урожайности в целом. У исследуемых селекционных линий значение показателя изменялось в пределах $1,95\text{--}5,06 \text{ г}$. Среднее значение данного показателя составило $3,87 \text{ г}$. Наибольшее значение отмечено у линии, полученной от скрещивания Восточная (Россия) \times Шырайлы (Казахстан) № 14 ($5,06 \text{ г}$), и линии, отобранной из комбинации скрещивания Аида (Россия) \times Веховская (Россия) № 3 ($4,84 \text{ г}$). Негативно на признаке сказались условия произрастания 2022 г., так как в этом году отмечено обильное количество осадков в период формирования семян (конец июля – август). Из-за этого семя часто бывает невыполненное, деформированное и поврежденное болезнями, что отрицательно сказывается на его качестве. В связи с этим происходит снижение продуктивности одного растения и урожайности в целом [15, с. 103]. В 2022 г. наблюдалось резкое снижение массы семян с растения вдвое у всех селекционных линий (в среднем $1,56 \text{ г}$), а у некоторых линий значение показателя не превысило $1,0 \text{ г}$. (№ 5 – $0,93 \text{ г}$, № 8 – $0,92 \text{ г}$).

Таблица 1

Элементы продуктивности селекционных линий чечевицы (2020–2022 гг.)

Биология и биотехнологии

№ линии	Семенная продуктивность								
	Число семян с растения, шт.			Масса семян с растения, г			Масса 1000 семян, г		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Аида (Россия) × Веховская (Россия)									
1	54,0	73,0	28,0	3,71	3,80	1,12	70,2	64,2	34,2
2	44,0	47,0	37,0	3,43	2,29	2,35	66,3	55,4	64,4
3	53,0	53,0	49,0	4,84	2,58	2,24	79,6	77,4	60,6
4	41,0	53,0	44,0	4,81	3,52	2,56	82,7	59,8	58,2
5	41,0	50,0	20,0	3,55	2,28	0,93	76,0	64,2	50,2
6	64,0	69,0	30,0	4,33	3,41	1,84	65,7	58,6	48,6
7	28,0	40,0	31,0	4,74	1,61	1,85	49,9	59,6	64,1
Восточная (Россия) × Шырайлы (Казахстан)									
8	37,0	42,0	33,0	4,26	3,09	0,92	70,6	61,0	50,3
9	51,0	67,0	37,0	4,47	4,20	1,41	77,4	57,0	48,5
10	48,0	90,0	24,00	3,69	2,44	1,63	68,3	59,4	48,7
11	29,0	53,0	21,0	2,32	1,90	1,28	78,0	66,4	42,3
12	54,0	106,0	22,0	3,74	2,72	1,56	75,5	61,6	48,5
13	32,0	23,0	27,0	1,95	1,34	1,33	65,6	52,6	44,8
14	51,0	80,0	43,0	5,06	4,70	1,21	82,1	65,2	32,6
15	51,0	80,0	46,0	3,70	2,53	1,11	83,3	71,8	64,2
Среднее	49,5	57,4	32,0	3,87	2,83	1,56	72,3	60,2	50,6
HCP ₀₅	1,60	1,80	2,40	1,40	1,30	1,10	3,70	4,70	2,70

Table 1
Productivity elements of lentil breeding lines (2020–2022)

Line No.	Seed productivity								
	Number of seeds per plant, pcs.			Weight of seeds per plant, g			Weight of 1000 seeds, g		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Aida (Russia) × Vekhovskaya (Russia)									
1	54.0	73.0	28.0	3.71	3.80	1.12	70.2	64.2	34.2
2	44.0	47.0	37.0	3.43	2.29	2.35	66.3	55.4	64.4
3	53.0	53.0	49.0	4.84	2.58	2.24	79.6	77.4	60.6
4	41.0	53.0	44.0	4.81	3.52	2.56	82.7	59.8	58.2
5	41.0	50.0	20.0	3.55	2.28	0.93	76.0	64.2	50.2
6	64.0	69.0	30.0	4.33	3.41	1.84	65.7	58.6	48.6
7	28.0	40.0	31.0	4.74	1.61	1.85	49.9	59.6	64.1
Vostochnaya (Russia) × Shyrayly (Kazakhstan)									
8	37.0	42.0	33.0	4.26	3.09	0.92	70.6	61.0	50.3
9	51.0	67.0	37.0	4.47	4.20	1.41	77.4	57.0	48.5
10	48.0	90.0	24.00	3.69	2.44	1.63	68.3	59.4	48.7
11	29.0	53.0	21.0	2.32	1.90	1.28	78.0	66.4	42.3
12	54.0	106.0	22.0	3.74	2.72	1.56	75.5	61.6	48.5
13	32.0	23.0	27.0	1.95	1.34	1.33	65.6	52.6	44.8
14	51.0	80.0	43.0	5.06	4.70	1.21	82.1	65.2	32.6
15	51.0	80.0	46.0	3.70	2.53	1.11	83.3	71.8	64.2
Average value	49.5	57.4	32.0	3.87	2.83	1.56	72.3	60.2	50.6
LSD ₀₅	1.60	1.80	2.40	1.40	1.30	1.10	3.70	4.70	2.70

Показателем крупности и выполненности семян в воздушно-сухом состоянии является масса 1000 зерен. В период недостатка влаги семена на растениях развиваются щуплыми и легковесными, а при избытке отмечается полегание растений чечевицы и, следовательно, поражение семян болезнями и

вредителями [13]. Чем выше масса 1000 семян, тем больше в них запас питательных веществ, и такие семена дают более здоровые растения [8, с. 143]. Для получения сортов с оптимальной массой 1000 семян (для чечевицы 65–85 г) селекционеры проводят отбор генотипов, которые на фоне изменчивых

погодных условий стабильно формируют крупное, выполненное зерно [3, с. 5]. Благоприятное влияние на растения чечевицы в период вызревания оказали засушливые условия 2020 г. Значение показателя изменялось в границах 49,9–83,3 г. В среднем данный показатель составил 72,3 г. Наибольшее значение отмечено у линий, полученных от скрещивания Восточная (Россия) × Шырайлы (Казахстан) № 14 (82,1 г), и № 15 (83,3 г). Из-за ливневых дождей во второй половине вегетации неблагоприятные условия сложились в 2022 г., что привело к снижению массы 1000 семян до 50,6 г (в среднем). Но несмотря на плохие климатические условия произрастания в этом году, отмечены селекционные формы, показавшие достаточно высокий уровень признака: № 2 (64,4 г) и № 15 (64,2 г).

При создании адаптированных сортов любой сельскохозяйственной культуры необходимо знать экологическую пластичность и стабильность, которые позволят в дальнейшем рекомендовать оптимальные климатические условия для возделывания и активного внедрения в производство созданных сортов [5, с. 99]. Когда говорят об экологически устойчивом сорте в агрономическом отношении, подразумевают его способность формировать относительно стабильную по годам урожайность в благоприятных и неблагоприятных условиях возделывания. Чем шире диапазон приспособляемости, тем выше его экологическая пластичность. На основе полученных данных возможно правильно сориентироваться в подборе созданных сортов для определенной зоны возделывания [4, с. 125].

Оценкой экологической пластичности и пригодности сортов при возделывании в определенных почвенно-климатических условиях занимались многие авторы. В связи с этим данные исследования чечевицы весьма актуальны, а в нестабильных экологических условиях Омской области особенно в связи со спецификой климата [1, с. 382].

Для определения экологической пластичности селекционных форм применяют несколько научных методик [11, с. 451]. Самая распространенная – разработанная S. Eberhart и W. Russel в интерпретации В. А. Зыкина. Недостаток этой методики состоит в длительной оценке большого набора генотипов. Для ускорения селекционного процесса продолжительность исследования очень важна. Поэтому в последнее время стали применять методику, разработанную Р. А. Удачным и А. П. Головченко, которая позволяет провести изучение в более короткие сроки [20, с. 163].

Согласно этой методике, оценку экологической пластичности селекционных линий чечевицы провели по базисной составляющей семенной продуктивности, являющейся основой урожайности, – массе семян с растения. Расчет индекса интенсивности (И), индекса стабильности (ИС) и устойчивости индекса стабильности (У) позволил рассмотреть тенденцию формирования пластичности в целом еще на стадии начальной селекции культуры и классифицировать линии по степени отзывчивости на экологические условия произрастания (интенсивность и адаптивность) (таблица 2).

Таблица 2

Параметры экологической пластичности селекционных линий чечевицы (2020–2022 гг.)

№ линии	И, %	У, %	ИС			Тип
			2020	2021	2022	
Аида (Россия) × Веховская (Россия)						
1	73,2	17,2	7,60	7,84	7,75	Ин/С
2	95,2	12,5	6,96	5,17	4,12	Ин/С
3	40,2	–42,4	9,04	4,58	1,93	П-Ин/НС
4	84,2	18,6	8,76	9,61	8,16	Ин/С
5	76,2	–66,2	13,4	8,07	2,33	Ин/НС
6	91,5	16,8	8,30	8,60	6,98	Ин/С
7	33,5	–67,7	9,21	5,53	3,53	П-Ин/НС
Восточная (Россия) × Шырайлы (Казахстан)						
8	120,8	40,2	9,07	8,29	6,15	Ин/С
9	109,8	47,2	9,39	8,91	8,02	Ин/С
10	102,5	43,2	10,5	9,46	9,17	Ин/С
11	40,2	–19,2	9,84	5,93	3,91	П-Ин/НС
12	30,5	15,1	9,88	6,76	6,68	П-Ин/С
13	81,9	–76,1	10,5	5,44	1,39	Ин/НС
14	139,1	58,4	9,83	9,16	9,66	Ин/С
15	95,2	18,2	9,26	8,76	7,92	Ин/С

Примечание. И – индекс интенсивности, У – устойчивость индекса стабильности, ИС – индекс стабильности, Ин – интенсивный, П-Ин – полунинтенсивный, С – стабильный, НС – нестабильный.

Table 2
Parameters of ecological plasticity of lentil breeding lines (2020–2022)

Line No	I, %	R, %	SI			Type
			2020	2021	2022	
Aida (Russia) × Vekhovskaya (Russia)						
1	73,2	17,2	7,60	7,84	7,75	In/S
2	95,2	12,5	6,96	5,17	4,12	In/S
3	40,2	-42,4	9,04	4,58	1,93	S-In/US
4	84,2	18,6	8,76	9,61	8,16	In/S
5	76,2	-66,2	13,4	8,07	2,33	In/US
6	91,5	16,8	8,30	8,60	6,98	In/S
7	33,5	-67,7	9,21	5,53	3,53	S-In/US
Vostochnaya (Russia) × Shyrayly (Kazakhstan)						
8	120,8	40,2	9,07	8,29	6,15	In/S
9	109,8	47,2	9,39	8,91	8,02	In/S
10	102,5	43,2	10,5	9,46	9,17	In/S
11	40,2	-19,2	9,84	5,93	3,91	S-In/US
12	30,5	15,1	9,88	6,76	6,68	S-In/S
13	81,9	-76,1	10,5	5,44	1,39	In/US
14	139,1	58,4	9,83	9,16	9,66	In/S
15	95,2	18,2	9,26	8,76	7,92	In/S

Note. I – intensity index, R – resilience, SI – stability index, In – intensive, S-In – semi-intensive, S – stable, US – unstable.

За три года исследований для 15 селекционных линий чечевицы рассчитан индекс стабильности, указывающий на способность селекционной формы реализовывать продуктивный потенциал независимо от изменяющихся условий произрастания. Согласно методике Р. А. Удачина и А. П. Головаченко, наиболее приспособленными к колеблющимся экологическим факторам считаются формы с наибольшим индексом стабильности. В итоге установлено, что 11 генотипов относятся к группе сортов интенсивного типа, 4 – полуинтенсивного. Из 15 линий только 11 показывают стабильную семенную продуктивность в любых погодных условиях, а 4 характеризуются как нестабильные.

Для определения доли влияния генотипических особенностей культуры и экологических условий на реверсирование элементов семенной продуктивности в годы научных исследований проведен двухфакторный дисперсионный анализ (таблица 3).

Результаты выполненного дисперсионного анализа влияния генотипа линии, условий произрастания и их совместного взаимодействия на фенотипическое проявление показателей семенной продуктивности показал, что на изменчивость числа семян с растения значительное влияние оказывают генотипические особенности селекционной линии (42,8 %). Фенотипическая изменчивость массы семян с растения обусловлена условиями произрастания сельскохозяйственной культуры (40,3 %), а массы 1000 семян – взаимодействием двух факторов одновременно (57,0 %). Стоит отметить, что фактор «генотип × условия произрастания» оказали

достаточное влияние на варьирование признаков семенной продуктивности (35,9–57,0 %).

Для проведения объективной комплексной оценки полученного селекционного материала применены методы многомерной статистики, которые позволяют разделить исходное множество объектов на группы путем попарного сравнения по выбранным критериям. На основании полученных параметров экологической пластичности изученные селекционные линии разделены на три основных кластера методом анализа главных компонент. Первый кластер объединил 5 линий интенсивного и полуинтенсивного типа, для которых характерен отрицательный коэффициент устойчивости (У), свидетельствующий о нестабильной продуктивности селекционной формы. Во второй и третий кластер вошли линии интенсивного и полуинтенсивного типа со стабильной продуктивностью по годам (3 и 6 соответственно). Отличия между этими кластерами состоят в значениях индекса стабильности (ИС) и его устойчивости (У): в кластере № 2 более высокие показатели, чем в кластере № 3. Одна стабильная линия интенсивного типа не вошла не в один из кластеров (рис. 1).

С опорой на проведенные исследования и полученные результаты было отобрано семь селекционных линий интенсивного и полуинтенсивного типов, показавших высокую стабильную продуктивность на протяжении трех лет (таблица 4).

Выделенные селекционные линии будут включены в последующие этапы селекционного процесса чечевицы в регионе.

Результаты дисперсионного анализа элементов продуктивности селекционных линий чечевицы

Признак, параметр / источник вариации	Генотип	Условия произрастания	Генотип × условия произрастания	Ошибка
Число семян с растения:				
<i>df</i>	14	2	28	43,0
<i>MS</i>	238,4	1273,6	104,6	
<i>F</i>	2,42	14,20	4,46	
вклад, %	42,8	21,4	35,9	
Масса семян с растения:				
<i>df</i>	14	2	28	1,43
<i>MS</i>	1,09	20,7	41,2	
<i>F</i>	2,59	47,7	4,15	
вклад, %	22,1	40,3	37,6	
Масса 1000 семян:				
<i>df</i>	14	2	28	28,0
<i>MS</i>	87,8	1830,8	68,4	
<i>F</i>	1,28	26,7	5,45	
вклад, %	17,6	25,4	57,0	

Примечание. *df* – число степеней свободы, *MS* – средний квадрат, *F* – критерий Фишера. Для каждой линии $n = 10$, четырехкратная повторность.

* Вклад фактора статистически значим при $p < 0,001$.

Table 3

Results of dispersion analysis of productivity elements of lentil breeding lines

Feature, parameter / source of variation	Genotype	Growing conditions	Genotype × growing conditions	Error
Number of seeds per plant:				
<i>df</i>	14	2	28	43.0
<i>MS</i>	238.4	1273.6	104.6	
<i>F</i>	2.42	14.20	4.46	
contribution, %	42.8	21.4	35.9	
Weight of seeds per plant:				
<i>df</i>	14	2	28	1.43
<i>MS</i>	1.09	20.7	41.2	
<i>F</i>	2.59	47.7	4.15	
contribution, %	22.1	40.3	37.6	
Weight of 1000 seeds:				
<i>df</i>	14	2	28	28.0
<i>MS</i>	87.8	1830.8	68.4	
<i>F</i>	1.28	26.7	5.45	
contribution, %	17.6	25.4	57.0	

Note. *df* is the number of degrees of freedom, *MS* is the mean square, *F* is the Fisher criterion. For each line $n = 10$, 4-fold repetition.

* The contribution of the factor is statistically significant at $p < 0.001$.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. Благоприятные условия для роста и развития чечевицы сложились в 2021 г. В этот год отмечено наибольшее значение основных элементов семенной продуктивности у всех селекционных линий чечевицы: числа семян с растения (40,0–106,0 шт.), массы семян с растения (1,95–5,06 г), массы 1000 семян (49,9–83,3 г).

2. Определение индекса стабильности, показывающего способность селекционной формы реализовывать продуктивный потенциал независимо от изменяющихся условий произрастания, позволил разделить селекционный материал на типы: интенсивный (11 шт.) и полунтенсивный (4 шт.). Из 15

линий только 11 показывают стабильную семенную продуктивность в любых погодных условиях, а 4 характеризуются как нестабильные.

3. Дисперсионный анализ показал, что на изменчивость числа семян с растения значительное влияние оказывают генотипические особенности селекционной линии (42,8 %), массы семян с растения – условия произрастания сельскохозяйственной культуры (40,3%), а массы 1000 семян – взаимодействием двух факторов одновременно (57,0 %). Стоит отметить, что фактор «генотип × условия произрастания» оказал достаточное влияние на варьирование признаков семенной продуктивности (35,9–57,0 %).

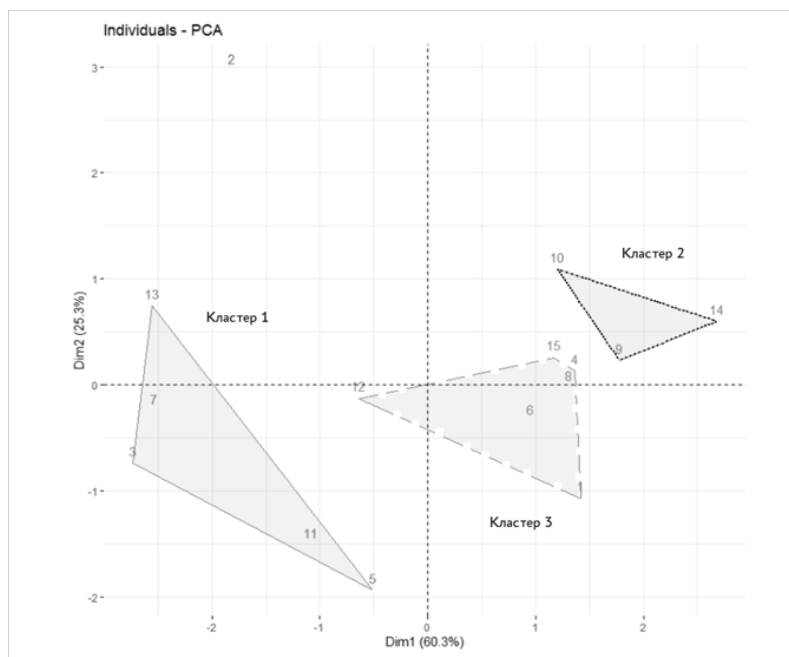


Рис. 1. Кластеризация методом главных компонент селекционных линий чечевицы

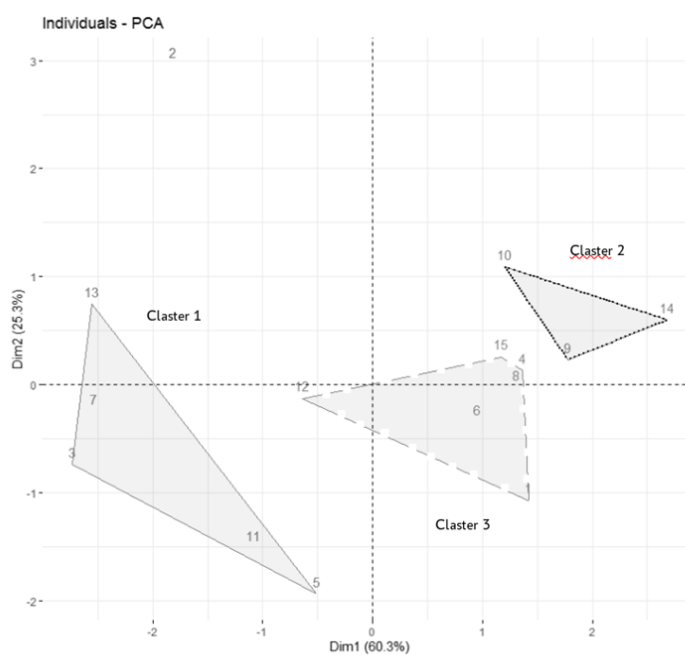


Fig. 1. Principal component clustering of lentil breeding lines

Таблица 4
Характеристика селекционных линий, отобранных по результатам экологической пластичности (2020–2022 гг.)

№ линии	Семенная продуктивность, $M \pm SEM$		
	Число семян с растения, шт.	Масса семян с растения, г	Масса 1000 семян, г
1	$51,6 \pm 0,971$	$2,91 \pm 0,192$	$56,1 \pm 0,932$
6	$54,3 \pm 1,03$	$3,23 \pm 0,161$	$57,2 \pm 0,931$
10	$54,1 \pm 1,01$	$2,55 \pm 0,132$	$58,5 \pm 0,941$
12	$60,7 \pm 1,41$	$2,61 \pm 0,143$	$61,5 \pm 0,983$
14	$58,0 \pm 1,10$	$3,64 \pm 0,184$	$59,7 \pm 0,962$
15	$59,0 \pm 1,11$	$2,47 \pm 0,121$	$72,9 \pm 1,07$

Characteristics of breeding lines selected based on the results of ecological plasticity (2020–2022)

Line No	Seed productivity, $M \pm SEM$		
	Number of seeds per plant, pcs.	Weight of seeds per plant, g	Weight of 1000 seeds, g
1	51.6 ± 0.971	2.91 ± 0.192	56.1 ± 0.932
6	54.3 ± 1.03	3.23 ± 0.161	57.2 ± 0.931
10	54.1 ± 1.01	2.55 ± 0.132	58.5 ± 0.941
12	60.7 ± 1.41	2.61 ± 0.143	61.5 ± 0.983
14	58.0 ± 1.10	3.64 ± 0.184	59.7 ± 0.962
15	59.0 ± 1.11	2.47 ± 0.121	72.9 ± 1.07

4. Кластерный анализ методом главных компонент определил три основные группы (кластера), различающихся по типу стабильности и интенсивности. Первый кластер объединил 5 селекционных линий интенсивного и полунинтенсивного типа, показавших нестабильную семенную продуктивность на протяжении трех лет изучения. Во второй и третий кластеры вошли линии интенсивного и полунинтенсивного типа со стабильной продуктивностью по годам (3 и 6 соответственно). Отличия между

этим кластерами состоят в значениях индекса стабильности (ИС) и его устойчивости (У): в кластере № 2 более высокие показатели, чем в кластере № 3. Одна стабильная линия интенсивного типа не вошла не в один из кластеров (рис. 1).

5. По результатам исследований выделено шесть стабильных генотипов интенсивного и полунинтенсивного типов для дальнейшей селекционной работы в агроэкологических условиях региона (№ 1, 6, 10, 12, 14, 15).

Библиографический список

1. Зотиков В. И., Вилунов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. № 4. С. 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041.
2. Шихалиева К. Б., Аббасов М. А., Рустамов Х. Н. [и др.] Роль генофонда чечевицы (*Lens culinaris* Medik.) из коллекции зернобобовых культур в решении задач селекции в Азербайджане // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2 (26). С. 36–43. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10013.
3. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В. [и др.] Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4 (36). С. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198.
4. Мараксаева Т. В., Горбачева Т. В. Перспектива развития производства чечевицы в Омской области // Второй Международный форум «Зернобобовые культуры, развивающееся направление в России». Омск, 2018. С. 123–126.
5. Зайцев С. А., Рожков П. Ю., Миронов И. В. Испытание чечевицы отечественной селекции в различных условиях выращивания // Вавиловские чтения – 2022: сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 135-й годовщине со дня рождения академика Н. И. Вавилова. Саратов: ООО «Амирит», 2022. С. 98–103.
6. Иконников А. В. Семенная продуктивность перспективных коллекционных образцов чечевицы // Роль молодых ученых в инновационном развитии сельского хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Орел, 2019. С. 67–69.
7. Дворянинов С. А., Сорокина И. Ю., Пимонов К. И. Исходный материал для селекции чечевицы в условиях Ростовской области РФ // Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства: материалы международной научно-практической конференции. Персиановский, 2019. С. 185–196.
8. Сорокина И. Ю. Изучение коллекционных образцов чечевицы для создания новых сортов в условиях Юга России // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 1-1 (115). С. 140–143. DOI: 10.23670/IRJ.2022.115.1.028.
9. Стасюк А. И., Леонова И. Н., Пономарева М. Л. [и др.] Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 78–91. DOI: 10.15389/agrobology.2021.1.78rus.
10. Kazydub N., Marakayeva T., Kuzmina S. et al. Chemical composition of seeds and green beans of common bean varieties, bred in Omsk State Agrarian University under conditions of southern forest-steppe zone of Western Siberia // Agronomy Research. 2017. Vol. 15. No. 5. Pp. 1918–1927. DOI: 10.15159/AR.17.065.
11. Polukhin A. A., Zotikov V. I., Zelenov A. A. et al. Potential for Growth of Legume Production in the Orel Region // Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security: Conference proceedings. Switzerland, 2022. Pp. 449–457. DOI: 10.1007/978-3-030-93155-1_49.

12. Вишнякова М. А., Александрова Т. Г., Буравцева Т. В. [и др.] Видовое разнообразие коллекции генетических ресурсов зернобобовых ВИР и его использование в отечественной селекции (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. № 2. С. 109–123. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-109-123.
13. Маракаева Т. В. Исходный материал для селекции чечевицы в Омской области [Электронный ресурс] // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2019. № 2 (17). Article number 3. URL: <https://e-journal.omgau.ru/images/issues/2019/2/00723.pdf> (дата обращения: 23.06.2023).
14. Liber M., Oliveira H. R., Maia A. T., Duarte I. The History of Lentil (*Lens culinaris* subsp. *culinaris*) Domestication and Spread as Revealed by Genotyping-by-Sequencing of Wild and Landrace Accessions // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. No. APR. Article number 628439. DOI: 10.3389/fpls.2021.628439.
15. Поминов А. В. Мировая коллекция ВИР – исходный материал для селекции чечевицы в условиях нижнего Поволжья РФ // Вавиловские чтения – 2019: международная научно-практическая конференция, посвященная 132-й годовщине со дня рождения академика Н. И. Вавилова. Саратов, 2019. С. 100–103.
16. Крылова Е. А., Хлесткина Е. К., Бурляева М. О., Вишнякова М. А. Детерминантный характер роста зернобобовых культур: роль в доместикации и селекции, генетический контроль // *Экологическая генетика*. 2020. Т. 18. № 1. С. 43–58. DOI: 10.17816/ecogen16141.
17. Ногаев В. О. Зернобобовые культуры на мировом рынке // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Пенза, 2020. С. 74–76
18. Куленцан А. Л., Марчук А. Л. Исследование и анализ влияния эффективности производства зерновых и зернобобовых культур // *Синергия Наук*. 2019. № 42. С. 113–122.
19. Возиян В. И., Якобуца М. Д., Авдэний Л. П. Селекционные достижения в создании новых сортов зернобобовых культур в НИИПК «Селекция» Республики Молдова // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019. № 3 (31). С. 42–46. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11112.
20. Гриднева Е. Е., Калиакпарова Г. Ш. Чечевица – ценная зернобобовая культура для Казахстана // *Проблемы аграрника*. 2019. № 2. С. 160–166.

Об авторах:

Татьяна Владимировна Маракаева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
ORCID 0000-0001-9384-8112, AuthorID 781932; +7 950 339-63-34, tv.marakaeva@omgau.org
Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия

References

1. Zotikov V. I., Vilyunov S. D. Sovremennaya selektsiya zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v Rossii [Modern selection of leguminous and cereal crops in Russia] // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021. Vol. 25. No. 4. Pp. 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041. (In Russian.)
2. Shikhalieva K. B., Abbasov M. A., Rustamov Kh. N. Rol' genofonda chechevitsy (*Lens culinaris* Medik.) iz kollektzii zernobobovykh kul'tur v reshenii zadach selektsii v Azerbaydzhanе [The role of the gene pool of lentils (*Lens culinaris* Medik.) from the collection of leguminous crops in solving the problems of breeding in Azerbaijan] // *Legumes and groat crops*. 2018. No. 2 (26). Pp. 36–43. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10013. (In Russian.)
3. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova N. V. et al. Razvitie proizvodstva zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v Rossii na osnove ispol'zovaniya selektsionnykh dostizheniy [Development of the production of leguminous and cereal crops in Russia based on the use of breeding achievements] // *Legumes and groat crops*. 2020. No. 4 (36). Pp. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198. (In Russian.)
4. Marakaeva T. V., Gorbacheva T. V. Perspektiva razvitiya proizvodstva chechevitsy v Omskoy oblasti [Prospects for the development of lentil production in the Omsk region] // *Vtoroy Mezhdunarodnyy forum "Zernobobovye kul'tury, razvivayushcheysya napravlenie v Rossii"*. Omsk, 2018. Pp. 123–126. (In Russian.)
5. Zaytsev S. A., Rozhkov P. Yu., Mironov I. V. Ispytanie chechevitsy otechestvennoy selektsii v razlichnykh usloviyakh vyrashchivaniya [Testing lentils of domestic selection in various growing conditions] // *Vavilovskie chteniya – 2022: Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 135-y godovshchine so dnya rozhdeniya akademika N. I. Vavilova*. Saratov: OOO "Amirit", 2022. Pp. 98–103. (In Russian.)
6. Ikonnikov A. V. Semennaya produktivnost' perspektivnykh kollekttsionnykh obraztsov chechevitsy [Seed productivity of promising collection samples of lentils] // *Rol' molodykh uchenykh v innovatsionnom razvitii sel'skogo khozyaystva: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov*. Oryol, 2019. Pp. 67–69. (In Russian.)
7. Dvoryaninov S. A., Sorokina I. Yu., Pimonov K. I. Iskhodnyy material dlya selektsii chechevitsy v usloviyakh Rostovskoy oblasti RF [Initial material for breeding lentils in the conditions of the Rostov region of the Rus-

sian Federation] // Resursosberezhenie i adaptivnost' v tekhnologiyakh vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i pererabotki produktsii rastenievodstva: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Persianovskiy, 2019. Pp. 185–196. (In Russian.)

8. Sorokina I. Yu. Izuchenie kollektсионnykh obraztsov chechevitsy dlya sozdaniya novykh sortov v usloviyakh Yuga Rossii [The study of collection samples of lentils to create new varieties in the conditions of the South of Russia] // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2022. No 1-1 (115). Pp. 140–143. DOI: 10.23670/IRJ.2022.115.1.028. (In Russian.)

9. Stasyuk A. I., Leonova I. N., Ponomareva M. L. Fenotipicheskaya izmenchivost' selektsionnykh liniy myagkoy pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) po elementam struktury urozhaya v ekologicheskikh usloviyakh Zapadnoy Sibiri i Tatarstana [Phenotypic Variability of Breeding Lines of Common Wheat (*Triticum aestivum* L.) by Elements of Yield Structure in Ecological Conditions of Western Siberia and Tatarstan] // Agricultural Biology. 2021. Vol. 56. No. 1. Pp. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiol.2021.1.78rus. (In Russian.)

10. Kazydub N., Marakaeva T., Kuzmina S. Chemical composition of seeds and green beans of common bean varieties, breded in Omsk State Agrarian University under conditions of southern forest-steppe zone of Western Siberia // Agronomy Research. 2017. Vol. 15. No. 5. Pp. 1918–1927. DOI: 10.15159/AR.17.065.

11. Polukhin A. A., Zotikov V. I., Zelenov A. A. Potential for Growth of Legume Production in the Orel Region // Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security: Conference proceedings. Switzerland, 2022. Pp. 449–457. DOI: 10.1007/978-3-030-93155-1_49.

12. Vishnyakova M. A., Aleksandrova T. G., Buravtseva T. V. Vidovoe raznoobrazie kolleksii geneticheskikh resursov zernobobovykh VIR i ego ispol'zovanie v otechestvennoy selektsii (obzor) [Species diversity of the VIR collection of leguminous genetic resources and its use in domestic breeding (review)] // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019. Vol. 180. No. 2. Pp. 109–123. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-109-123. (In Russian.)

13. Marakaeva T. V. Iskhodnyy material dlya selektsii chechevitsy v Omskoy oblasti [Source material for breeding lentils in the Omsk region] [e-resource] // Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU. 2019. No. 2 (17). Article number 3. URL: <https://e-journal.omgau.ru/images/issues/2019/2/00723.pdf> (date of reference: 23.06.2023). (In Russian.)

14. Liber M., Oliveira H. R., Maia A. T., Duarte I. The History of Lentil (*Lens culinaris* subsp. *culinaris*) Domestication and Spread as Revealed by Genotyping-by-Sequencing of Wild and Landrace Accessions // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12ю No. APR. Article number 628439. DOI: 10.3389/fpls.2021.628439.

15. Pominov A. V. Mirovaya kolleksiya VIR – iskhodnyy material dlya selektsii chechevitsy v usloviyakh nizhnego Povolzh'ya RF [The VIR world collection is the source material for breeding lentils in the conditions of the lower Volga region of the Russian Federation] // Vavilovskie chteniya – 2019: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 132-y godovshchine so dnya rozhdeniya akademika N. I. Vavilova. Saratov, 2019. Pp. 100–103. (In Russian.)

16. Krylova E. A., Khlestkina E. K., Burlyaeva M. O., Vishnyakova M. A. Determinantnyy kharakter rosta zernobobovykh kul'tur: rol' v domestikatsii i selektsii, geneticheskii kontrol' [The determinant nature of the growth of leguminous crops: the role in domestication and selection, genetic control] // Ecological Genetics. 2020. Vol. 18. No. 1. Pp. 43–58. DOI: 10.17816/ecogen16141. (In Russian.)

17. Nogaev V. O. Zernobobovye kul'tury na mirovom rynke [Leguminous crops on the world market] // Vklad molodykh uchenykh v innovatsionnoe razvitie APK Rossii: sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. Penza, 2020. Pp. 74–76. (In Russian.)

18. Kulentsan A. L., Marchuk A. L. Issledovanie i analiz vliyaniya effektivnosti proizvodstva zernovykh i zernobobovykh kul'tur [Research and analysis of the impact of the efficiency of production of grain and leguminous crops] // Sinergiya Nauk. 2019. No. 42. Pp. 113–122. (In Russian.)

19. Voziyan V. I., Yakobutsa M. D., Avedeniy L. P. Selektсионnye dostizheniya v sozdanii novykh sortov zernobobovykh kul'tur v NIIPK “Selektsiya” respubliki Moldova [Breeding achievements in the creation of new varieties of leguminous crops in the Scientific Research Institute for Pedagogical Research “Selektsia” of the Republic of Moldova] // Legumes and groat crops. 2019. No. 3 (31). Pp. 42–46. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11112. (In Russian.)

20. Gridneva E. E., Kaliakparova G. Sh. Chechevitsa – tsennaya zernobobovaya kul'tura dlya Kazakhstana [Lentils are a valuable leguminous crop for Kazakhstan] // Problemy agrorynka. 2019. No. 2. Pp. 160–166. (In Russian.)

Authors' information:

Tatyana V. Marakaeva, candidate of agricultural sciences, associate professor, ORCID 0000-0001-9384-8112, AuthorID 781932; +7 950 339-63-34, tv.marakaeva@omgau.org
Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia

Результаты применения кормовой добавки пробиотического действия для повышения продуктивности дойных коров

Е. Ю. Облогина¹, Н. Н. Забашта^{1,2}, Е. Н. Головко², И. А. Синельщикова²✉, Е. П. Лисовицкая^{1,2}

¹ Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

² Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, Краснодар, Россия

✉ E-mail: ms.basana@list.ru

Аннотация. В статье освещаются результаты научно-хозяйственного опыта на высокопродуктивных дойных коровах черно-пестрой породы во вторую половину лактации. **Цель исследования** – оценка возможности использования новой лиофилизированной кормовой добавки «Бонака-АПК» в рационах дойных коров для повышения их продуктивности и качественных показателей молока. Изучено продуктивное действие кормовой добавки «Бонака-АПК» на дойных коровах. Научно-хозяйственный опыт проведен в хозяйстве ОСП «Новатор 1» (Гулькевичский район, Краснодарский край) в 2021–2022 гг. **Задачи исследования** – изучить влияние скармливания кормовой добавки «Бонака-АПК» на молочную продуктивность и качественные показатели молока коров. **Методы.** Исследования проводили на двух группах дойных коров по 12 голов в каждой, сформированных с учетом возраста, количества отелов, живой массы, уровня молочной продуктивности, содержания жира и белка в молоке. Хозяйственный рацион кормления дойных коров черно-пестрой породы с живой массой $550,0 \pm 40,0$ кг и удоем $16,0 \pm 3,0$ кг в сутки содержал 170 МДж ОЭ, 1582,0 г переваримого протеина и 4100,0 г сырой клетчатки, в т. ч. 1844,0 г крахмала. Сахаропротеиновое соотношение в рационе – 0,83. На 1 ЭКЕ приходилось 93,1 г переваримого протеина. Опытная группа дополнительно к основному рациону в составе комбикорма получала пробиотический комплекс «Бонака-АПК» в количестве 0,02 кг на 1 голову 1 раз в день перед дойкой. Уровень кормления подопытных групп соответствовал нормам ВИЖ. **Результаты.** Применение биотехнологического комплекса «Бонака-АПК» в качестве добавки к комбикорму за учетный период позволило повысить удой молока на 24,63 %, а в пересчете на 4-процентную жирность – на 29,9 % по сравнению с контролем без добавки. Установлено увеличение на 0,13 % по сравнению с контролем массовой доли белка в молоке коров после скармливания им добавки «Бонака-АПК» в период с 141 по 231 день лактации. За счет более высокой молочной продуктивности в опытной группе получено на 29,87 и 26,58 % больше молочного жира и белка в сравнении со сверстниками контрольной. **Научная новизна.** Впервые испытан новый разработанный комплекс «Бонака-АПК» на дойных коровах.

Ключевые слова: черно-пестрая, дойные коровы, кормовая добавка, биотехнологический комплекс, молоко.

Для цитирования: Облогина Е. Ю., Забашта Н. Н., Головко Е. Н., Синельщикова И. А., Лисовицкая Е. П. Результаты применения кормовой добавки пробиотического действия для повышения продуктивности дойных коров // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 98–107. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-98-107.

Дата поступления статьи: 02.05.2023, **дата рецензирования:** 15.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

The results of the application of a probiotic feed additive to increase the productivity of dairy cows

E. Yu. Oblogina¹, N. N. Zabashta^{1,2}, E. N. Golovko², I. A. Sinelshchikova²✉, E. P. Lisovitskaya^{1,2}

¹ Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

² Krasnodar Research Centre for Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Krasnodar, Russia

✉E-mail: ms.basana@list.ru

Abstract. The article highlights the results of scientific and economic experience on highly productive dairy cows of black-and-white breed in the second half of lactation. **The purpose** is the evaluation of the possibility of using a new lyophilized feed additive “Bonaka-APK” in the diets of dairy cows to increase their productivity and milk quality indicators. Studied the productive effect of the feed additive “Bonaka-APK” on dairy cows. Scientific and economic experience was conducted in the farm of the OSP “Novator 1” (Gulkevichi district, Krasnodar Territory) in 2021–2022. **Research objectives** to study the effect of feeding the feed additive “Bonaka-APK” on milk productivity and quality indicators of cow milk. **Methods.** The studies were carried out on two groups of dairy cows, formed by the method of pairs of analogues. Feeding ration of dairy cows of black-and-white breed with a live weight of 550.0 ± 40.0 kg and a milk yield of 16.0 ± 3.0 kg per day contained: 170 MJ OE, 1582.0 g of digestible protein and 4100.0 g of crude fiber, including 1844.0 g of starch. The sugar-protein ratio in the diet is – 0.83. There were 93.1 g of digestible protein per 1 energy feed unit. The experimental group, in addition to the main diet as part of the compound feed, received a probiotic complex “Bonaka-APK” in the amount of 0.02 kg per 1 head, once a day before milking. **Results.** The use of the biotechnological complex “Bonaka-APK” as an additive to compound feed, for the accounting period, made it possible to significantly increase the milk yield of 1 cow in the experimental group by 24.6 %, and in terms of 4.0% fat content – by 26.0 % compared with control. The content of fat in the milk of the experimental groups did not differ significantly, and the content of the mass fraction of protein in the milk of the experimental group was significantly higher by 0.4 % compared to the control. **Scientific novelty.** For the first time, a new, developed complex “Bonaka-APK” was tested on dairy cows.

Keywords: black-and-white, dairy cows, feed additive, biotechnological complex, milk.

For citation: Oblogina E. Yu., Zabashta N. N., Golovko E. N., Sinelshchikova I. A., Lisovitskaya E. P. The results of the application of a probiotic feed additive to increase the productivity of dairy cows // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 98–107. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-98-107. (In Russian.)

Date of paper submission: 02.05.2023, **date of review:** 15.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время из-за вводимых санкций задачей агропромышленного комплекса Российской Федерации является максимально быстрое наращивание продукции сельского хозяйства. Ее решение зависит не только от производственных мощностей агропромышленного комплекса и биоклиматических условий, но и от состояния продовольственного рынка. Основными приоритетными направлениями в животноводстве являются разведение крупного рогатого скота (молочное и мясное направления продуктивности), овцеводство, птицеводство.

При внедрении современных методов выращивания молочного скота можно добиться их высокой продуктивности. Потребление молочных продуктов населением нашей страны сократилось. Скорее всего, это наблюдается из-за ряда причин: оттока жителей из сельской местности, низкого дохода населения, высокой стоимости конечного продукта и др. Согласно данным Росстата, лидерами в производстве молока за 2021 год стали республики Татарстан, Башкортостан, а также Краснодарский край.

За 2022 год в Краснодарском крае получено свыше 1600 тыс. тонн сырого молока, что выше результата предыдущего года на 4,0 %. Молочное поголовье за последние пять лет выросло на 5 % (216,2 тыс. голов) с увеличением молочной продуктивности на 36 %.

Несмотря на то что производство молока в крае находится на достаточно высоком уровне, оно все равно не отвечает требованиям рынка. Следовательно, необходимо продолжать работу в дальнейшем увеличении численности и продуктивности молочного стада.

Продуктивность жвачных животных в основном зависит не только от процессов ферментации в рубце, но и от правильной организации кормления и содержания. Состав кормов рациона, соотношение питательных веществ в нем и их полноценность определяются главным образом эффективностью микробиологического анаболизма в рубце, от которого в первую очередь зависят удовлетворение потребностей организма жвачного животного в питательных веществах и его продуктивность. Вы-

сокопродуктивные животные могут испытывать дефицит энергии сразу после отела, поскольку потребленные питательные вещества не всегда соответствуют потребленным с кормом [1].

Молоко является важным источником питательных веществ для роста, развития и поддержания здоровья человека [1; 2]. Его потребность рассчитывается исходя из нормы 325 кг в год на человека. Учитывая, что в настоящее время дефицит потребления молока составляет 85 кг, или 26,15 %, оптимизация кормления дойных коров с применением биотехнологических добавок, позволяющих поддерживать нормальное физиологическое состояние и высокую молочную продуктивность, весьма актуальна на ближайшую перспективу [3; 4].

Важность обеспечения безопасности молока и молочных продуктов продиктована Техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС) 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», утвержденным решением комиссии Таможенного союза 9 декабря 2011 года, и ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», утвержденным Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013 года, в которых устанавливаются правила, формы оценки и подтверждения соответствия молока и молочной продукции.

Значение комплексных кормовых добавок с про-, пре-, и метабиотическими свойствами в питании крупного рогатого скота так же велико, как и в питании моногастричных животных [5–7]. Объясняется это той ролью, которую они играют во всех процессах обмена веществ и формировании устойчивого иммунитета. Хотя есть и оппонирующее мнение исследователей о том, что современная тенденция комбинирования полезных бактерий, их метаболитов для получения коммерческих биотехнологических средств может усложнить положительный эффект на организм животных [8; 9].

Введение в рацион дойных коров пробиотика целлобактерина приводило к достоверному ($p = 0,049$) повышению надоев, а также к снижению числа соматических клеток в молоке [10].

Есть данные авторов, что биотехнологические кормовые добавки с пробиотическим действием на основе живых полезных бактерий характеризуются устойчивостью к кислотному стрессу в рубце коров [11; 12].

Основными предпосылками к применению пробиотических добавок в рационах для животных агропромышленного комплекса являются научные разработки Продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций и Всемирной организации здравоохранения.

Несмотря на расширяющийся рынок пробиотических и синбиотических средств, до настоящего времени остается много вопросов, например, к дозировкам и формам (сухие и жидкие) скармливания биодобавок животным [13; 14].

Методология и методы исследования (Methods)

Большой интерес наука проявляет к производству кормовых добавок для сельскохозяйственных животных, обладающих про- и пребиотическими свойствами с целью стимуляции неспецифического иммунитета, профилактики и лечения заболеваний, вызванных нарушениями микробной среды в пищеварительном тракте.

Разработанный новый комплекс «Бонака-АПК» для животных, в том числе для крупного рогатого скота, представляет собой сухой концентрат в виде порошка.

В состав комплекса входят молочная сыворотка, заменитель обезжиренного молока, пробиотический комплекс пропионовокислых, бифидо- и лактобактерий, дрожжей и дрожжеподобных микробактерий, микроскопических молочных грибов, 10 % цеолита на основе алюмосиликатов кальция и натрия, 2 % фульвовых кислот пребиотического действия и метаболиты *Bifidobacterium animalis subsp. lactis BB-12* метабиотического действия. Данный комплекс был нами разработан для восстановления здоровой микрофлоры в кишечнике сельскохозяйственных животных и птиц и улучшения пищеварения.

Известно, что часто применяемые в биотехнологических кормовых добавках спорообразующие бактерии отрицательно влияют на технологические свойства молока [13; 15], хотя некоторые микроорганизмы, такие как *Bacillus*, *Brevibacillus*, *Clostridium*, *Sporolacto bacillus* и др., эффективнее обычных пробиотиков на основе бифидобактерий и лактобактерий справляются с кишечными расстройствами.

Использование спорообразующих бактерий в качестве пробиотических препаратов ограничено из-за их близости к патогенным и токсичным штаммам, таким как *Bacillus anthracis*, *Clostridium perfringens* и *Clostridium botulinum*, а также из-за отсутствия совместимости с нормальной микрофлорой кишечника.

В состав комплексной кормовой добавки «Бонака-АПК» с высоким титром ($2,5 \times 10^9$ КОЕ/г) включены пропионовокислые бактерии *Propionibacterium* – *P. freudenreichii subs'*, *P. shermanii*; лактобациллы *Lactobacillus* – *L. lactis subsp.*, *L. delbrueskii subsp. bulgaricus*, *L. Casei*, *L. Acidophilus*, *L. plantarum*, *L. acidophilus unisporus*; бифидобактерии *Bifidobacterium* – *B. bifidum*, *B. adolescentis*, *B. animalis subsp. lactis BB-12*; дрожжи *Torulopsis* – *Torulopsis sphaerica*, *T. delbrueskii*; кандиды *Candida* – *Candida kefir*, *C. holmii*, *C. Candida friedrichii*; *Kluyveromyces lactis* и *K. marxianus*.

Все эти микроорганизмы, иммобилизованные на белковом субстрате, не являются спорообразующими. Для продления сроков годности и защиты от воздействия внешних факторов окружающей среды комплекс «Бонака-АПК» вырабатывается в лиофи-

лизированной форме. Основными характеристиками нового комплекса стали стабильность к термической обработке, безопасность для окружающей среды, удобство в использовании. Его можно применять как при смешивании с водой, так и с объемистыми и концентрированными компонентами рациона. Исследования в опыте на двух группах (I – контрольная, II – опытная) дойных коров черно-пестрой породы ($n = 12$) проведены в хозяйстве ОСП «Новатор 1» Гулькевичского района Краснодарского края. Крупный рогатый скот контрольной группы получал как в предварительном, так и в учетном периодах опыта хозяйственный рацион, сбалансированный по детализированным нормам кормления с учетом возраста животных и планируемой молочной продуктивности. В составе хозяйственного рациона предварительного и учетного периодов коровы получали на 1 голову: сена люцернового 4,0 кг; сенажа злаково-бобового 8,0 кг; сенажа люцернового 6,0 кг; силоса кукурузного 24 кг; комбикорма (КК-60-3/1) 4,5 кг; отрубей пшенично-ячменных 1,5 кг; жома свекловичного сырого 3,95 кг; премикса минерально-витаминного П-60-3/1 0,05 кг; поваренной соли 0,05 кг (таблица 1).

Животным опытной группы дополнительно к хозяйственному рациону вводили лиофилизированный комплекс «Бонака-АПК», смешанный с комбикормом, в количестве 0,02 кг на голову один раз в день, перед дойкой. Кормление животных было индивидуальное. В ходе эксперимента вели учет по влиянию скармливания испытуемого комплекса на поедаемость кормов животными с целью расчета затрат кормов на единицу продукции. Условия содержания были идентичными, животных обслуживал один оператор. Химический состав и питательную ценность кормов определяли в лабораториях отдела токсикологии и качества кормов ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии» по общепринятым методикам и государственным стандартам. В хозяйственном рационе дойные коровы с живой массой $550,0 \pm 40,0$ кг и удоем $16,0 \pm 3,0$ кг в сутки в обеих группах опыта получали на каждую голову 170 МДж обменной энергии; 1582,0 г переваримого протеина и 4100,0 г сырой растительной клетчатки, включая 1844,0 г крахмала. Соотношение сахара и белка в питании животных было идеальным и составило 0,83. На 1 энергетическую кормовую единицу приходилось 93,1 г переваримого протеина (таблица 2).

Таблица 1
Состав хозяйственного рациона для дойных коров живой массой $550,0 \pm 40,0$ кг и удоем $16,0 \pm 3,0$ кг, на 1 голову в сутки

Состав	Количество, кг
Сено люцерновое	4,0
Сенаж злаково-бобовый	8,0
Сенаж люцерновый	6,0
Силос кукурузный	24,0
Комбикорм	4,5
Отруби пшеница+ячмень	1,5
Патока свекловичная	0,5
Жом свекловичный свежий	3,9
Премикс П-60-3/1%	0,05
Поваренная соль	0,05
ВСЕГО	48,0

Table 1
The composition of the household ration for dairy cows with a live weight of 550.0 ± 40.0 kg and a milk yield of 16.0 ± 3.0 kg, per 1 head per day

Composition	Quantity, kg
Alfalfa hay	4.0
Grain and legume haylage	8.0
Alfalfa haylage	6.0
Corn silo	24.0
Compound feed	4.5
Bran wheat+barley	1.5
Beet molasses	0.5
Raw beet pulp	3.9
Premix P-60-3/1%	0.05
Table salt	0.05
TOTAL	48.0

Таблица 2

Питательная ценность хозяйственного рациона для дойных коров живой массой $550,0 \pm 50,0$ кг и удоем $15,0 \pm 5,0$ кг в сутки

Биология и биотехнологии

Питательная ценность	На 1 гол/сутки
Обменной энергии, МДж	170,0
ЭКЕ	17,0
Сухое вещество, кг	17,7
Сухое вещество, %	36,9
Сырой протеин, г	1950,0
Переваримый протеин, г	1582,9
Сырой жир, г	512,2
Сырая клетчатка, г	4100,0
Крахмал, г	1844,0
Сахар, г	1321,0
Кальций, г	153,8
Фосфор, г	99,2
Магний, г	42,4
Калий, г	409,1
Сера, г	40,8
Железо, мг	2237
Медь, мг	128,9
Цинк, мг	787,7
Кобальт, мг	4,4
Марганец, мг	936,9
Йод, мг	11,2
Каротин, мг	557,0
Витамин D, тыс. МЕ	12,2
Витамин E, мг	638,0

Table 2

Nutritional value of the household ration for dairy cows with a live weight of 550.0 ± 50.0 kg and milk yield 15.0 ± 5.0 kg per day

Nutritional value	For 1 head/day
Exchange energy, MJ	170.0
ЭКЕ	17.0
Dry matter, kg	17.7
Dry matter, %	36.9
Crude protein, g	1950.0
Digestible protein, g	1582.9
Crude fat, g	512.2
Crude fiber, g	4100.0
Starch, g	1844.0
Sugar, g	1321.0
Calcium, g	153.8
Phosphorus, g	99.2
Magnesium, g	42.4
Potassium, g	409.1
Sulfur, g	40.8
Iron, mg	2237
Copper, mg	128.9
Zinc, mg	787.7
Cobalt, mg	4.4
Manganese, mg	936.9
Iodine, mg	11.2
Carotene, mg	557.0
Vitamin D, thous. IU	12.2
Vitamin E, mg	638.0

Продолжительность предварительного периода опыта составила один месяц (в период со 110-го по 140-й день лактации), учетного – 3 месяца, в период со 141-го по 231-й день лактации. Учет молочной продуктивности коров проводили каждую декаду методом контрольных доек при двукратном доении. После доения сборное сырое молоко было охлаждено в течение двух часов до температуры 4 ± 2 °С. Затем были отобраны средние пробы молока объемом 1 л (ГОСТ 13928-84 п. 2.2) для проведения физико-химических показателей: массовой доли жира (ГОСТ 5867-90), белка (ГОСТ 23327-98, п. 4.1), сухих обезжиренных веществ молока (ГОСТ 3626-73), плотности (ГОСТ Р 54758-2011), содержание соматических клеток (ГОСТ 23453-2014), титруемой кислотности (ГОСТ 3624-92, п. 2), группы чистоты (ГОСТ 8218-89) и микробиологических показателей молока: бактериальную обсемененность и содержание патогенных микроорганизмов, в т. ч. Сальмонелл, определяли по ГОСТ 32901-2014

и ГОСТ 31659-2012 соответственно. Также образцы были исследованы на содержание антибиотиков: левомицетин, тетрациклиновая группа, стрептомицин, пенициллин (МУ № 3049-84, ГОСТ 31502-2012), токсичных элементов: свинец, кадмий (ГОСТ 30178-96), ртуть, мышьяк (МУ 5178-90, ГОСТ 26930-86), пестицидов (ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты) и микотоксинов (афлатоксин М₁) в лаборатории селекции и качества молока ФГБНУ КНЦЗВ.

Результаты (Results)

Анализ использования кормов не показал значительных отличий в их потреблении, однако стоит отметить, что у животных опытной группы, которые получали комплекс «Бонака-АПК», потребление кормов было выше – на 12,54 %. Результаты исследований показали превосходство дойных коров черно-пестрой породы опытной группы, в состав рациона которых включали комплекс «Бонака-АПК», по ряду показателей, которые отражены в таблице 3.

Таблица 3
Молочная продуктивность коров, $n = 12$

Показатель	Группа	
	I контрольная	II опытная
Среднесуточный удой на 1 корову, кг		
– предварительный период	17,1 ± 7,72	17,0 ± 10,33
– учетный период	13,4 ± 15,50	16,7 ± 13,41**
Содержание жира, %		
– предварительный период	3,7 ± 0,20	3,7 ± 0,12
– учетный период	3,8 ± 0,14	3,96 ± 0,02
Содержание белка, %		
– предварительный период	3,1 ± 0,01	3,1 ± 0,08
– учетный период	3,11 ± 0,02	3,24 ± 0,04
Удой молока на 1 корову, кг		
– за предварительный период (30 дн.)	513,0 ± 44,2	510,0 ± 38,6
– за учетный период (90 дн.)	1206,0 ± 70,1	1503,0 ± 54,3
Удой молока в учетный период при жирности 4 %, кг	1145,70	1487,97
Получено чистого молочного жира в учетный период, кг	45,83	59,52
Получено чистого молочного белка в учетный период, кг	37,51	47,48

Примечание. ** $p < 0,01$.

Table 3
Dairy productivity of cows, $n = 12$

Indicator	Group	
	I control	II experimental
Average daily milk yield per 1 cow, kg		
– preliminary period	17.1 ± 1.72	17.0 ± 1.33
– accounting period	13.4 ± 1.50	16.7 ± 1.41**
Fat content, %		
– preliminary period	3.7 ± 0.20	3.7 ± 0.12
– accounting period	3.8 ± 0.14	3.96 ± 0.02
Protein content, %		
– preliminary period	3.1 ± 0.01	3.1 ± 0.08
– accounting period	3.11 ± 0.02	3.24 ± 0.04
Milk yield per 1 cow, kg		
– for the preliminary period (30 days)	513.0 ± 44.2	510.0 ± 38.6
– for the accounting period (90 days)	1206.0 ± 70.1	1503.0 ± 54.3
Milk yield in the accounting period at 4 % fat content, kg	1145.70	1487.97
Pure milk fat was obtained in the accounting period, kg	45.83	59.52
Pure milk protein was obtained in the accounting period, kg	37.51	47.48
The content of somatic cells, in 1 cm ³	4.8*10 ⁵	4.0*10 ⁵
Density, kg/m ³	1028.0 ± 1.0	1028.5 ± 0.07

Note. ** $p < 0.01$.

В ходе проведения эксперимента установлено, что среднесуточный удой в предварительном периоде у животных подопытных групп находился на одинаковом уровне и составил до 17,1 кг.

За 90 дней учетного периода суточный удой на 1 голову в опытной группе составил 16,7 против 13,4 кг у коров контрольной группы, что достоверно выше ($p < 0,01$) на 3,3 кг, или на 24,63 %.

Использование комплекса «Бонака-АПК» в рационах дойных коров повлияло на содержание жира и белка в молоке.

Превосходство составило 0,16 и 0,13 % в пользу опытной группы.

Удой молока в учетный период при натуральной жирности в опытной группе составил 1503,0 против 1206,0 кг, что выше на 24,63 %, а в пересчете на жирность 4 % – 1487,97 и 1145,70 кг, или выше на 29,9 %.

Чистого молочного жира за период эксперимента получено в контрольной и опытной группах: 45,83 и 59,52 кг, а белка 37,51 и 47,48 кг или выше в пользу последних на 29,87 и 26,58 %.

Эта тенденция обусловлена более высокими удоями животных опытной группы.

В ходе проведения эксперимента нами были определены качественные и показатели безопасности полученного молока, отраженные в таблице 4.

Особый интерес представляет содержание соматических клеток в молоке, которые свидетельствуют о воспалении и возникновении различных форм маститов. По некоторым литературным данным, доказана взаимосвязь количества соматических клеток с показателями суточной молочной продуктивности лактирующих коров.

Из данных таблицы 4 следует, что по содержанию соматических клеток, плотности и кислотности молоко, полученное от коров обеих групп, относится к первому сорту.

По микробиологическим и показателям безопасности молоко соответствовало требованиям ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия» и требованиям ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Таблица 4
Качественные показатели молока

Показатель	Группа		Допустимые уровни
	I контрольная	II опытная	
Физико-химические показатели молока			
Плотность, кг/м ³	1028,0 ± 1,0	1028,0 ± 0,07	Не менее 1028,0
Кислотность, °Т	17,0	17,0	От 16,0 до 21,0 включительно
Группа чистоты	I	I	не ниже II
Содержание соматических клеток, в 1 см ³	4,8*10 ⁵	4,0*10 ⁵	4*10 ⁵ (высший сорт) 1*10 ⁶ (первый сорт) 4*10 ⁵ (второй сорт)
Антибиотики			
Левомецетин (хлорамфеникол), мг/кг	Менее 0,0003*		Менее 0,0003
Тетрациклиновая группа, мг/кг	Менее 0,01*		Менее 0,01
Стрептомицин, мг/кг	Менее 0,2*		Менее 0,2
Пенициллин, мг/кг	Менее 0,0025*		Менее 0,004
Токсичные элементы			
Свинец, мг/кг	0,016 ± 0,01	0,022 ± 0,02	Не более 0,1
Мышьяк, мг/кг	Менее 0,0025*	Менее 0,0025*	Не более 0,05
Кадмий, мг/кг	Менее 0,01*	Менее 0,01*	Не более 0,03
Ртуть, мг/кг	Менее 0,005*	Менее 0,005*	Не более 0,005
Пестициды			
Гексахлорциклогексан (α-, β-, γ-изомеры), мг/кг	Менее 0,05*		Не более 0,05
ДДТ и его метаболиты, мг/кг	Менее 0,05*		Не более 0,05
Микотоксины			
Афлатоксин М ₁ , мг/кг (л, дм ³)	Менее 0,0005*		Не более 0,0005
Микробиологические показатели:			
КМАФАнМ, КОЕ/г (см ³)	5*10 ⁴	3*10 ⁵	1*10 ⁵ (высший сорт) 5*10 ⁵ (первый сорт) 4*10 ⁶ (второй сорт)
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г (см ³)	Не обнаружены		Не допускаются

Table 4
Milk quality indicators

Indicator	Group		Acceptable levels
	I control	II experimental	
Physico-chemical parameters of milk			
Density, kg/m ³	1028.0 ± 1.0	1028.0 ± 0.07	Nevertheless 1028.0
Acidity, °C	17.0	17.0	From 16.0 to 21.0 inclusive
Purity Group	I	I	not lower II
The content of somatic cells, in 1 cm ³	4.8*10 ⁵	4.0*10 ⁵	4*10 ⁵ (top grade) 1*10 ⁶ (first grade) 4*10 ⁵ (second grade)
Antibiotics			
Levomycetin (chloramphenicol), mg/kg	Less than 0.0003*		Less than 0.0003
Tetracycline group, mg/kg	Less than 0.01*		Less than 0.01
Streptomycin, mg/kg	Less than 0.2*		Less than 0.2
Penicillin, mg/kg	Less than 0.0025*		Less than 0.004
Toxic elements			
Lead, mg/kg	0.016 ± 0.01	0.022 ± 0.02	No more 0.1
Arsenic, mg/kg	Less than 0.0025*	Less than 0.0025*	No more 0.05
Cadmium, mg/kg	Less than 0.01*	Less than 0.01*	No more 0.03
Mercury, mg/kg	Less than 0.005*	Less than 0.005*	No more 0.005
Pesticides			
Hexachlorocyclohexane (α-, β-, γ- isomers), mg/kg	Less than 0.05*		No more 0.05
DDT and its metabolites, mg/kg	Less than 0.05*		No more 0.05
Mycotoxins			
Aflatoxin M ₁ , mg/kg (L/dm ³)	Less than 0.0005*		No more 0.0005
Microbiological indicators:			
Quantity of Mesophilic Aerobic and Facultative Anaerobic Microorganisms, CFU/g (cm ³)	5*10 ⁴	3*10 ⁵	1*10 ⁵ (top grade) 5*10 ⁵ (first grade) 4*10 ⁶ (second grade)
Pathogenic microorganisms, including salmonella, in 25 g (cm ³)	Not detected		Not allowed

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В 120-дневном опыте на лактирующих коровах черно-пестрой породы установлено, что добавка в рацион биотехнологического комплекса «Бонака-АПК» с пре-, про-, и метабитическими свойствами в количестве 0,02 кг на голову в составе комбикорма один раз в день, перед дойкой, способствовала увеличению надоя молока от 1 коровы на 24,63 %, а в пересчете на 4-процентную жирность – на 29,9 % по сравнению с контролем без добавки.

Установлено увеличение по сравнению с контролем на 0,13 %, массовой доли белка в молоке коров после скормливания им добавки «Бонака-АПК» в период со 141-го по 231-й день лактации.

За счет более высокой молочной продуктивности в опытной группе получено на 29,87 и 26,58 % больше молочного жира и белка в сравнении со сверстниками контрольной.

Библиографический список

1. Mcfarland L., Huang Y., Wang L., Malfertheiner P. Systematic review and meta-analysis: multi-strain probiotics as adjunct therapy for helicobacter pylori eradication and prevention of adverse events // United European Gastroenterology Journal. 2019. No. 4 (4). Pp. 546–561. DOI: 10.1177/2050640615617358.
2. Левина Е. Ю. Забашта Н. Н., Головки Е. Н., Синельщикова И. А., Аракчеева Е. Н. «БОНАКА-АПК» при откорме телок на мясо // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. Краснодар, 2022. Т. 11. № 2. С. 13–19. DOI: 10.48612/sbornik-2022-2-3.
3. Забашта Н. Н., Головки Е. Н., Лисовицкая Е. П. [и др.] Афлатоксин AFM₁: Безопасность и качество молока // Ветеринария Кубани. 2020. № 1. С. 11–14. DOI: 10.33861/2071-8020-2020-1-11-14.
4. Markowiak P., Ślizewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition // Gut Pathogens. 2020. No. 10 (21). DOI: 10.1186.
5. Забашта Н. Н., Головки Е. Н., Меньшенин В. В., Лисовицкая Е. П., Синельщикова И. А. Мясная продуктивность бычков, выращиваемых на органическую говядину // Вестник КрасГАУ. 2022. № 9 (186). С. 145–151. DOI: 10.36718.

6. Левина Е. Ю.; ООО НЦ «Бонака». Кормовая пробиотическая добавка для птиц. Патент RU 2 742 867 С1. Заявл. 11.01.2021; Опубли. 11.02.2021. 26 с.
7. Ozheredova N. A., Svetlakova E. V., Verevkinina M. N. et al. The influence of a complex of probiotic cultures on intensity of development the animals. *Research Journal of Pharmaceutical // Biological and Chemical Sciences*. 2016. Vol. 7. No. 2. Pp. 716–720.
8. Гуревич К. Г., Никитюк Д. Б., Никонов Е. Л., Заборова В. А. [и др.] Роль пробиотиков и микробиоты в пищеварении, метаболизме нутриентов, гормонов и поддержании гормонального фона // *Профилактическая медицина*. 2018. 21 (3). С. 45–50. DOI: 10.17116/profmed201821345.
9. Сулыга Н. В., Катков К. А., Ковалева Г. П., Лапина М. Н. Влияние генетических факторов на продуктивность коров черно-пестрой породы в зависимости от возраста в лактациях // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 60-1. С. 53–59. DOI: 10.54258/20701047_2023_60_1_53.
10. Ыылдырым Е. А., Лаптев Г. Ю., Ильина Л. А. и др. Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты рубца лактирующих коров под влиянием пробиотика целлобактерина // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55. № 6. С. 1204–1219. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1204rus.
11. Забашта Н. Н., Головки Е. Н., Синельщикова И. А., Лисовицкая Е. П., Сарбагова Н. Ю. Сравнительные исследования интерьера бычков на откорме // *Молочное и мясное скотоводство*. 2022. № 4. С. 57–60. DOI: 10.33943.
12. Zabashta N., Golovko E., Sinelshchikova I., Visokopoyasnaya A. Beef for baby food from bulls and castrates // *E3S Web of Conferences XIII International Scientific and Practical Conference. State and Prospects for the Development of Agribusiness*. 2020. Vol. 175. Article number 08008. DOI: 10.1051/e3sconf/202017508008.
13. Погодаев В. А., Рачков И. Г., Кононова Л. В., Боташева В. А., Смирнова Л. М. Инновационные российские препараты и их использование в свиноводстве // *Зоотехния*. 2022. № 9. С. 13–16. DOI: 10.25708/ZT.2022.73.25.004.
14. Ковалева Г. П., Лапина М. Н., Сулыга Н. В., Витол В. А. Нарушение обмена веществ как один из факторов, снижающих воспроизводительные способности коров черно-пестрой породы // *Зоотехния*. 2021. № 11. С. 12–14. DOI: 10.25708/ZT.2021.85.60.004
15. Трубина И. А., Сычева О. В., Скорбина Е. А. Мясной продукт функциональной направленности с натуральными растительными компонентами // *Инновационные подходы к развитию устойчивых аграрно-пищевых систем: материалы Международной научно-практической конференции*. Волгоград, 2022. С. 335–339.

Об авторах:

Елена Юрьевна Облогина¹, соискатель, ORCID 0009-0006-6610-770X, AuthorID 1197933; +7 918 31-13-100, elena.levina@bonaka.ru

Николай Николаевич Забашта^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологии хранения и переработки животноводческой продукции¹, ведущий научный сотрудник², ORCID 0000-0002-1319-716X, AuthorID 631866; +7 918 44-00-956, n.zabashta@bk.ru

Елена Николаевна Головки², доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-6764-4682, AuthorID 299459; +7 988 356-05-16, martinija@yandex.ru

Синельщикова Ирина Алексеевна², кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник. ORCID 0000-0002-2786-9625, AuthorID 656104; +7 918 328-02-03, ms.basana@list.ru

Лисовицкая Екатерина Петровна^{1,2}, кандидат технических наук, доцент¹, старший научный сотрудник². ORCID 0000-0002-1933-6458, AuthorID 678488; +7 952 825-37-05, lisovickaya.ekaterina@mail.ru

¹ Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

² Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, Краснодар, Россия

References

1. Mcfarland L., Huang Y., Wang L., Malfetheriner P. Systematic review and meta-analysis: multi-strain probiotics as adjunct therapy for helicobacter pylori eradication and prevention of adverse events // *United European Gastroenterology Journal*. 2019. No. 4 (4). Pp. 546–561. DOI: 10.1177/2050640615617358.
2. Levina E. Yu., Zabashta N. N., Golovko E. N., Sinel'shchikova I. A., Arakcheeva E. N. "BONAKA-APK" pri otkorme telok na myaso ["BONAKA-APK" when fattening heifers for meat] // *Sbornik nauchnykh trudov Krasnodarskogo nauchnogo tsentra po zootekhnii i veterinarии*. Krasnodar, 2022. Vol. 11. No. 2. Pp. 13–19. DOI: 10.48612/sbornik-2022-2-3. (In Russian.)
3. Zabashta N. N., Golovko E. N., Lisovitskaya E. P. et al. Aflatoksin AFM1: Bezopasnost' i kachestvo moloka [Aflatoxin M1: Safety and quality of milk] // *Veterinariya Kubani*. 2020. No. 1. Pp. 11–14. DOI: 10.33861/2071-8020-2020-1-11-14. (In Russian.)

4. Markowiak P., Śliżewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition // *Gut Pathogens*. 2020. No. 10 (21). DOI: 10.1186/s13099-018-0250-0.
5. Zabashta N. N., Golovko E. N., Men'shenin V. V., Lisovitskaya E. P., Sinel'shchikova I. A. Myasnaya produktivnost' bychkov, vyrashchivaemykh na organicheskuyu govyadinu [Meat productivity of bulls raised for organic beef] // *Vestnik KrasGAU*. 2022. No. 9 (186). Pp. 145–151. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-145-151. (In Russian.)
6. Levina E. Yu.; OOO NTs "Bonaka". Kormovaya probioticheskaya dobavka dlya ptits [Probiotic feed additive for birds]. Patent RU 2 742 867 C1. Zayavl. 11.01.2021; Opubl. 11.02.2021. 26 p. (In Russian.)
7. Ozheredova N. A., Svetlakova E. V., Verevkin M. N. et al. The influence of a complex of probiotic cultures on intensity of development the animals. *Research Journal of Pharmaceutical // Biological and Chemical Sciences*. 2016. Vol. 7. No. 2. Pp. 716–720. (In Russian.)
8. Gurevich K. G., Nikityuk D. B., Nikonov E. L., Zaborova V. A. et al. Rol' probiotikov i mikrobioty v pishchevarenii, metabolizme nutrientov, gormonov i podderzhanii gormonal'nogo fona [The role of probiotics and microbiota in digestion, metabolism of nutrients, hormones and maintenance of hormonal background] // *Profilakticheskaya meditsina*. 2018. No. 21 (3). Pp. 45–50. DOI: 10.17116/profmed201821345. (In Russian.)
9. Sulyga N. V., Katkov K. A., Kovaleva G. P., Lapina M. N. Vliyanie geneticheskikh faktorov na produktivnost' korov cherno-pestroy porody v zavisimosti ot vozrasta v laktatsiyakh [The influence of genetic factors on the productivity of black-and-white cows depending on age in lactation] // *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023. Vol. 60-1. Pp. 53–59. DOI: 10.54258/20701047_2023_60_1_53. (In Russian.)
10. Yyldyrym E. A., Laptev G. Yu., Il'ina L. A. et al. Taksonomicheskaya i funktsional'naya kharakteristika mikrobioty rubtsa laktiruyushchikh korov pod vliyaniem probiotika tsellobakterina [Taxonomic and functional characteristics of the rumen microbiota of lactating cows under the influence of cellobacter probiotic] // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2020. Vol. 55. No. 6. Pp. 1204–1219. DOI: 10.15389/agrobiol.2020.6.1204rus. (In Russian.)
11. Zabashta N. N., Golovko E. N., Sinel'shchikova I. A., Lisovitskaya E. P., Sarbatova N. Yu. Sravnitel'nye issledovaniya inter'era bychkov na otkorme [Comparative studies of the interior of bulls on fattening] // *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2022. No. 4. Pp. 57–60. DOI: 10.33943/MMS.2022.69.94.010. (In Russian.)
12. Zabashta N., Golovko E., Sinel'shchikova I., Visokopoyasnaya A. Beef for baby food from bulls and castrates // *E3S Web of Conferences XIII International Scientific and Practical Conference. State and Prospects for the Development of Agribusiness*. 2020. Vol. 175. Article number 08008. DOI: 10.1051/e3sconf/202017508008.
13. Pogodaev V. A., Rachkov I. G., Kononova L. V., Botasheva V. A., Smirnova L. M. Innovatsionnye rossiyskie preparaty i ikh ispol'zovanie v svinovodstve [Innovation, the Russian detergent, and ihpolizationand in pig-holding] // *Zootekhnika*. 2022. No. 9. Pp. 13–16. DOI: 10.25708/ZT.2022.73.25.004. (In Russian.)
14. Kovaleva G. P., Lapina M. N., Sulyga N. V., Vitol V. A. Narushenie obmena veshchestv kak odin iz faktorov, snizhayushchikh vosproizvoditel'nye sposobnosti korov cherno-pestroy porody [Metabolic disorders as one of the factors that reduce the reproductive abilities of black-and-white cows] // *Zootekhnika*. 2021. No. 11. Pp. 12–14. DOI: 10.25708/ZT.2021.85.60.004. (In Russian.)
15. Trubina I. A., Sycheva O. V., Skorbina E. A. Myasnoy produkt funktsional'noy napravlenosti s natural'nymi rastitel'nymi komponentami [Meat product of functional orientation with natural plant components. In the collection: Innovative approaches to the development of sustainable agricultural and food systems] // *Innovatsionnye podkhody k razvitiyu ustoychivyykh agrarno-pishchevykh system: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Volgograd, 2022*. Pp. 335–339. (In Russian.)

Authors' information:

Elena Yu. Oblogina¹, candidate, ORCID 0009-0006-6610-770X, AuthorID 1197933; +7 918 31-13-100, elena.levina@bonaka.ru

Nikolay N. Zabashta^{1,2}, doctor of agricultural sciences, associate professor, head of the department of technology of storage and processing of livestock products¹, leading researcher², ORCID 0000-0002-1319-716X, AuthorID 631866; +7 918 44-00-956, n.zabashta@bk.ru

Elena N. Golovko², doctor of biological sciences, leading researcher, ORCID 0000-0002-6764-4682, AuthorID 299459; +7 988 356-05-16, martinija@yandex.ru

Irina A. Sinel'shchikova², candidate of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0002-2786-9625, AuthorID 656104; +7 918 328-02-03, ms.basana@list.ru

Ekaterina P. Lisovitskaya^{1,2}, candidate of technical sciences, associate professor¹, senior researcher², ORCID 0000-0002-1933-6458, AuthorID 678488; +7 952 825-37-05, lisovickaya.ekaterina@mail.ru

¹ Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

² Krasnodar Research Centre for Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Krasnodar, Russia

Определение взаимосвязи генотипов SNP с содержанием жирных кислот различной пространственной конфигурации в молоке коров

А. В. Степанов[✉], О. А. Быкова, О. В. Костюнина, С. Д. Пильникова
Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия
[✉]E-mail: alexeystepanow@mail.ru

Аннотация. Жирные кислоты в молочном жире имеют различные пространственные конфигурации. Длительное употребление транс-изомеров жирных кислот вызывает различные заболевания организма человека. Информация об уровне содержания ненасыщенных жирных кислот в трансконфигурации в составе молочного жира дает возможность использования этого признака в селекционной работе. Научная новизна заключается в изучении молекулярно-генетических механизмов регулирования количественного содержания жирных кислот и их транс-изомеров в жировой фракции молока коров. **Цель работы** – выявление аллельных вариантов SNP, ассоциированных с жирнокислотным составом молока коров и содержанием в нем транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот. **Методы исследований.** Исследования проведены на коровах голштинизированной черно-пестрой породы. Изучен генетический профиль животных голштинизированной черно-пестрой породы, идентифицированы SNP, значимо ассоциированные с количественным и качественным содержанием жирных кислот и их транс-изомеров в жировой фракции молока коров. Жирнокислотный состав молока коров определяли с помощью мультипараметрического автоматического анализатора MilkoScan 7/Fossomatic 7 FT+ / DC. **Результаты.** Проведено полногеномное генотипирование. Достоверная разница между количеством жирных кислот и генотипами установлена только по 5 SNP. Установлено, что по четырем SNP наибольшие значения содержания жирных кислот и транс-изомеров были у гомозиготных генотипов ARS-BFGL-NGS-41348^{GG}; BTA-115852-no-rs^{AA}; BTV-00771463^{GG}; Нармар46159-BTA-70956^{TT}. Достоверная разница по содержанию в молоке транс-изомеров жирных кислот между генотипами обнаружена только по SNP ARS-BFGL-NGS-5502. Наибольшая массовая доля транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот установлена в молочном жире коров с гетерозиготным генотипом AG, что составило 0,076 г / 100 г и было на 0,011 г / 100 г и 0,032 г / 100 г ($P \leq 0,01$) больше по сравнению с гетерозиготными генотипами GG и AA соответственно.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, полногеномное генотипирование, жирные кислоты, транс-изомеры жирных кислот, ДНК-маркеры.

Для цитирования: Степанов А. В., Быкова О. А., Костюнина О. В., Пильникова С. Д. Определение взаимосвязи генотипов SNP с содержанием жирных кислот различной пространственной конфигурации в молоке коров // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 108–118. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-108-118.

Дата поступления статьи: 13.10.2023, **дата рецензирования:** 10.11.2023, **дата принятия:** 20.11.2023.

Determination of the relationship between SNP genotypes and the content of fatty acids of various spatial configurations in cow milk

A. V. Stepanov[✉], O. A. Bykova, O. V. Kostyunina, S. D. Pilnikova
Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia
[✉]E-mail: alexeystepanow@mail.ru

Abstract. Milk fat is the third main source of lipids for human nutrition. Fatty acids in milk fat have a heterogeneous composition due to differences in chain length, degree of saturation, etc. It has been scientifically proven that long-term consumption of trans-fatty acids causes various diseases of the human body; according to WHO recommendations, their maximum consumption should not exceed 1 % of total energy. A comprehensive study of the composition of fatty acids in cattle milk gives scientists the opportunity to use this trait in breeding work by selecting genotypes with a low content of trans-isomers and saturated fatty acids harmful to human health. **The scientific novelty** lies in the study of molecular genetic mechanisms for regulating the quantitative content of fatty acids and their trans-isomers in the fat fraction of cow's milk. **The purpose** of the work is to identify allelic variants of SNPs associated with the fatty acid composition of cow's milk and the content of trans isomers of unsaturated fatty acids in it. **Research methods.** The studies were carried out on cows of the Holstein black-and-white breed. The genetic profile of animals of the Holstein black-and-white breed was studied, SNPs significantly associated with the quantitative and qualitative content of fatty acids and their trans-isomers in the fat fraction of cow's milk were identified. The fatty acid composition of cows' milk was determined using a multiparameter automatic analyzer MilkoScan 7/Fossomatic 7 FT+ / DC (FOSS, Denmark). **Results.** Whole-genome genotyping was performed. Analyzing the content of fatty acids with different saturation of hydrogen bonds, a significant difference between the amount of fatty acids and genotypes, reliable values were established only for 5 SNPs. It was found that for four SNPs, the highest values of the content of fatty acids and trans-isomers were in homozygous genotypes ARS-BFGL-NGS-41348GG; BTA-115852-no-rsAA; BTB-00771463GG; Hapmap46159-BTA-70956TT. A significant difference in the content of trans-fatty acid isomers in milk between genotypes was found only for SNP ARS-BFGL-NGS-5502. The largest mass fraction of trans-isomers of unsaturated fatty acids was found in the milk fat of cows with the heterozygous genotype AG, which amounted to 0.076 g / 100 g and was 0.011 g / 100 g and 0.032 g / 100 g ($P \leq 0.01$) more compared to heterozygous genotypes GG and AA, respectively.

Keywords: cattle, genome-wide genotyping, fatty acids, trans isomers of fatty acids, DNA markers.

For citation: Stepanov A. V., Bykova O. A., Kostyunina O. V., Pilnikova S. D. Opredelenie vzaimosvyazi genotipov SNP s содержанием жирных кислот различной пространственной конфигурации в молоке коров [Determination of the relationship between SNP genotypes and the content of fatty acids of various spatial configurations in cow milk] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 108–118. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-01-108-118 (In Russian.)

Date of paper submission: 13.10.2023, **date of review:** 10.11.2023, **date of acceptance:** 20.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

На долю жировой фазы в молоке крупного рогатого скота приходится от 3 до 5 %. Липиды молочного жира, как и растительного, с точки зрения химического строения представлены по большей части трехзамещенными сложными эфирами глицерина, предельных и непредельных жирных кислот. В составе молочного жира присутствуют небольшие количества свободных жирных кислот, фосфолипидов, гликолипидов, стерина, каротина и витаминов [1].

Жирнокислотный состав жировой фазы молока имеет неоднородное строение в связи с различным количеством атомов в углеродной цепи кислоты, степени их насыщения водородом и положения

связывания на глицериновом остове, что оказывает значительное влияние на консистенцию молочного жира и температуру его плавления. Различия в температурах плавления среди молочных продуктов, которые находятся в диапазоне от -40 до 40°C [2; 3], являются типичным результатом неоднородности состава молочного жира. Разнообразие жирных кислот также позволило модифицировать функциональные свойства молока и молочных продуктов, что привело к появлению на рынке разнообразных продуктов.

Молочный жир содержит в своем составе большое количество различных жирных кислот. Однако в наиболее значимых количествах присутствуют только 16 жирных кислот, и они определяют физи-

ческие свойства молочного жира, включая температуру его плавления и затвердевания, содержание твердой фазы, а также твердость и растекаемость получаемого сливочного масла.

Молочный жир богат высшими насыщенными жирными кислотами (SFAS), на долю которых приходится 50–60 % от общего количества FAS. Соотношение короткоцепочечных (C4–C10) и среднецепочечных (C12–C14) FAS также относительно высоки в МФ. Содержание мононенасыщенных и полиненасыщенных ЖК в МЖ колеблется от 26 до 36 % и от 2 до 4 % соответственно [4].

Качественный и количественный состав молочного жира крупного рогатого скота находится в прямой зависимости от факторов как генетических, так и фенотипических, в том числе обусловлен породой животных, стадией лактации, физиологическим состоянием, интенсивностью рубцового пищеварения, составом и сбалансированностью рациона, количеством в нем клетчатки и энергии, диетических жиров, а также сезонными и региональными эффектами. В среднем жировая фаза молока содержит около семидесяти процентов предельных и тридцати процентов непредельных жирных кислот.

В настоящее время одной из актуальнейших задач молочного скотоводства является увеличение удою при сохранении высоких качественных показателей молока, характеризующих питательную ценность и технологическую пригодность к переработке, а также массовые доли жира и белка. В связи с этим наряду с традиционным отбором животных по удою, содержанию жира и белка особый интерес представляет определение ДНК-маркеров, ассоциированных с концентрацией в молоке жирных кислот различной конфигурации. Полученные данные позволяют вести селекцию животных по жирнокислотному составу молока, в частности, содержанию в молоке полиненасыщенных жирных кислот и их транс-изомеров, которые могут оказаться причиной многих тяжелых заболеваний человека [5].

Изучение влияния различных генов на содержание жирных кислот и синтез триглицеридов в молоке млекопитающих в последнее время вызывает интерес как российских, так и иностранных исследователей. Так, Fangting Zhou с соавторами (2023) получены данные, что ген AGPAT6 играет решающую роль в пути синтеза триглицеридов (ТГ) у млекопитающих. Он участвует в синтезе ТГ у крупного рогатого скота и влияет на экспрессию основных генов, связанных с транспортом и активацией жирных кислот (ЖК), синтезом ТГ и регуляцией транскрипции, окислением ЖК и деградацией ТГ в процессе липогенеза молока [6].

Китайскими учеными установлено влияние гена ARID1A на синтез молочного жира в эпителиальных клетках молочной железы крупного рогатого скота. Кроме того, в ходе проведения исследований

было выявлено стимулирующее действие на ген ARID1A метионина [7].

Потенциал последних разработок в области биологического вмешательства посредством диетических манипуляций с профилями жирных кислот молока у крупного рогатого скота также является многообещающим [8].

Идентификация генов и полиморфизмов, лежащих в основе количественных признаков, и понимание того, что эти гены и полиморфизмы влияют на показатели экономического роста, важны для успешного отбора с помощью маркеров и более эффективных стратегий управления товарной популяцией крупного рогатого скота [9].

В течение последних лет во всем мире остается актуальной проблема нормирования в продуктах, в том числе животного происхождения, содержания ненасыщенных жирных кислот в трансконфигурации. В нашей стране нет нормативных документов, четко регламентирующих допустимый уровень этих соединений в сыром молоке коров [10].

Транс-изомеры ненасыщенных жирных кислот поступают в молоко коров при его синтезе в молочной железе, при переработке молока переходят в неизменном виде в молочные продукты, которые становятся одним из источников поступления в организм человека ненасыщенных жирных кислот в трансконфигурациях [11].

Воздействие ТЖК на здоровье человека, как правило, варьируется в зависимости от их типа, структуры, состава и происхождения. Несмотря на широкое обсуждение неблагоприятного воздействия промышленных ТЖК на здоровье, воздействие природных ТЖК на здоровье все еще остается мало доказанным и требует глубокого изучения [12].

Безусловно, жирные кислоты молочного жира считаются важными пищевыми компонентами рациона значительной части населения земли и существенно влияют на здоровье человека. Что касается молочного производства, то изомеры жирных кислот также рассматриваются как важный фактор технологического качества сырого молока. В этом смысле целенаправленное регулирование соотношения изомеров жирных кислот потенциально может внести значительный вклад в производство молочных продуктов с более высокой добавленной стоимостью [13; 14].

Несомненно, актуальным является исследование состава молочного жира с целью выявления генетических механизмов, участвующих в процессе образования транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот и установления его технологической пригодности при переработке [15–21].

И. А. Лашнева с соавторами (2019) установили влияние уровня содержания транс-изомеров жирных кислот в молоке коров на их продуктивные показатели и пришли к выводу, что использование

транс-изомеров как потенциальных биомаркеров состава молока позволит принимать более точные решения по оценке влияния паратипических факторов и менеджмента в стаде для реализации генетического потенциала животных [22].

В связи с выше изложенным возникает необходимость изучения генетического профиля крупного рогатого скота и идентификации SNP, значимо ассоциированных с жирнокислотным составом молока коров и количественным содержанием в нем отдельных ненасыщенных жирных кислот в транс-конфигурации.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проведены в АО «Каменское» на коровах голштинизированной черно-пестрой породы. От животных опытной группы осуществляли отбор крови в вакуумные пробирки, содержащие консервант КЗ ЭДТА. Выделение ДНК и последующее генотипирование выполняли в центре геномной селекции компании ООО «Мираторг-Генетика».

Полногеномное генотипирование проводили с использованием чипов GGP Bovine 50K. Для проведения GWAS-исследований использовали пакет Garit v.3. Проводили анализ качественного и

количественного содержания в жировой фракции молока коров летучих жирных кислот, доли транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот с различными аллельными вариантами полиморфизмов, показавших наибольшую значимость при GWAS-исследовании. Использовали названия SNP, указанные в файле manifest для чипа, с помощью которого проводили исследования.

Частоту встречаемости генотипов анализируемых генов рассчитывали путем отношения количества коров из числа носителей генотипа к общему числу животных в исследуемой группе.

Обработку полученных в эксперименте данных проводили в программах Microsoft Excel, Biostatistics при расчете основных статистических и биометрических показателей.

Результаты (Results)

На современном этапе селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом все большее значение придается оценке взаимосвязи хозяйственно полезных признаков с частотой проявления в конкретной популяции генотипов ассоциированных с этими признаками генов. При этом передача генов потомству зависит от гетерозиготности или гомозиготности генотипа родителей (рис. 1–5)

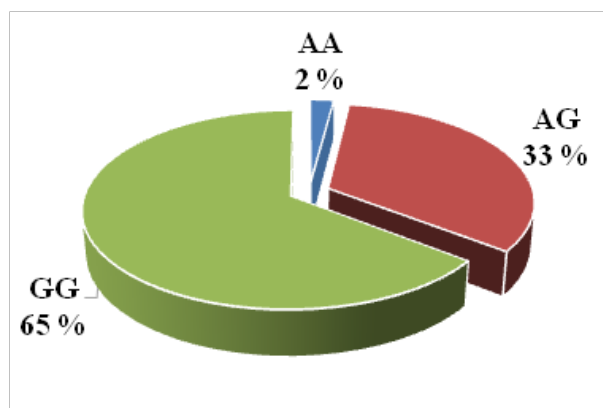


Рис. 1. Частота встречаемости генотипов ARS-BFGL-NGS-41348

Fig. 1. Frequency of occurrence of SNP genotypes ARS-BFGL-NGS-41348

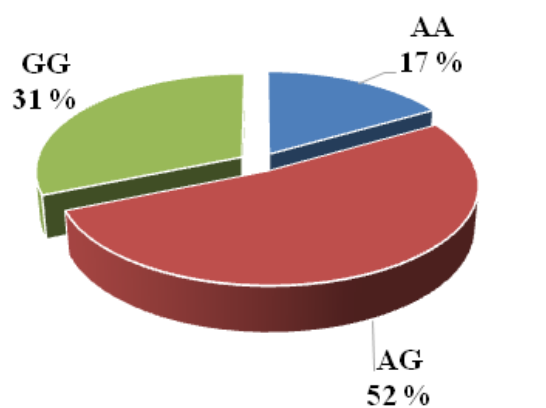


Рис. 2. Частота встречаемости генотипов ARS-BFGL-NGS-5502

Fig. 2. Frequency of occurrence of SNP genotypes ARS-BFGL-NGS-5502

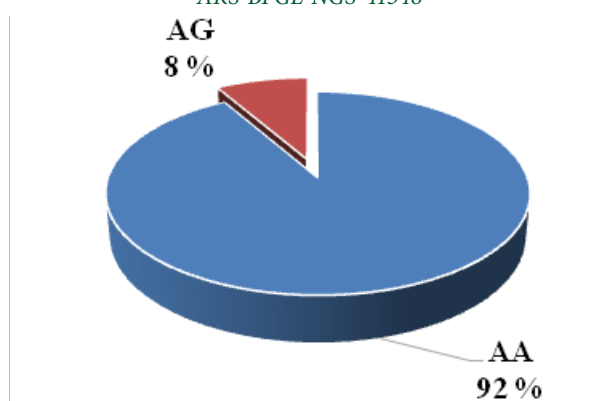


Рис. 3. Частота встречаемости генотипов BTA-115852-no-rs

Fig. 3. Frequency of occurrence of SNP genotypes BTA-115852-no-rs

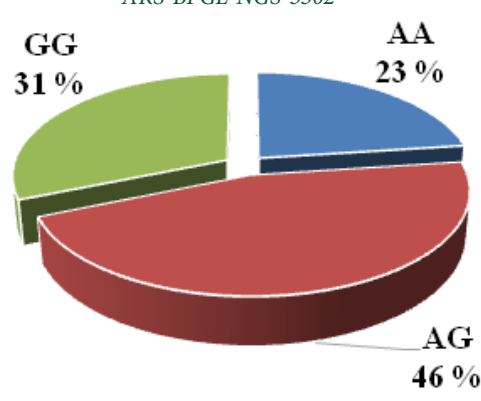


Рис. 4. Частота встречаемости генотипов BTB-00771463

Fig. 4. Frequency of occurrence of SNP genotypes BTB-00771463

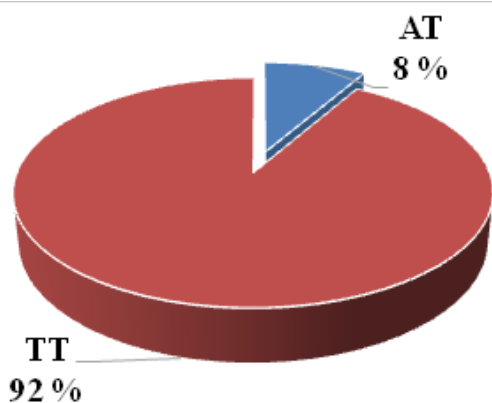


Рис. 5. Частота встречаемости генотипов Нарmap46159-BTA-70956

Fig. 5. Frequency of occurrence of SNP genotypes Narmap46159-BTA-70956

Согласно распределению генотипов, имеющих достоверные показатели разницы с содержанием жирных кислот и транс-изомеров по двум SNP: BTA-115852-no-rs и Нарmap46159-BTA-70956, установлено наличие только двух генотипов – гетерозиготного и одного гомозиготного. При этом наибольшую долю в обоих случаях составлял гомозиготный генотип – 92 %.

По трем SNP обнаружены 3 генотипа. По SNP ARS-BFGL-NGS-5502 и BTV-00771463 преобладали гетерозиготные генотипы (AG) с долями 52 и 46 % соответственно. По SNP ARS-BFGL-NGS-41348 также обнаружено 3 генотипа, однако количество животных с гомозиготным генотипом AA было незначительным, что не позволило провести статистическую обработку, при этом наибольшая доля гомозиготного генотипа GG отмечена у 65 % животных.

Уровень содержания жирных кислот в молоке коров в зависимости от насыщенности углеродных связей водородом представлен на рис. 6.

Содержание насыщенных жирных кислот в составе жировой фракции молока (рис. 6) было максимальным и составило 1,912 г / 100 г. Концентрация мононенасыщенных жирных кислот была в 2,6 раза меньше этого значения (0,722 г / 100 г). Массовые доли полиненасыщенных жирных кислот и транс-изомеров непредельных жирных кислот имели незначительные величины (0,093 и 0,067 г / 100 г).

Анализ содержания жирных кислот с различной насыщенностью водородных связей, транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот и их связи с генотипами рассматриваемых SNP демонстрирует определенную разницу, в некоторых случаях имеющую достоверное значение (таблица 1).

При рассмотрении динамики изменения содержания жирных кислот и их транс-изомеров по исследуемым SNP наибольшие значения по всем исследуемым показателям отмечены у животных с генотипами ARS-BFGL-NGS-41348^{GG}, BTA-

115852-no-rs^{AA}, BTV-00771463^{GG}, Нарmap46159-BTA-70956^{TT}, ARS-BFGL-NGS-5502^{AG}.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что наибольшую долю в жирнокислотном составе молока коров занимают насыщенные жирные кислоты. Уровни их содержания в молочном жире исследуемого поголовья крупного рогатого скота с различными генотипами SNP отличаются, а значения концентраций находятся в диапазоне от 2,658 до 1,256 г / 100 г. Практически по всем SNP установлена достоверная разница между максимальным и минимальным значениями данного показателя. Так, уровень содержания насыщенных жирных кислот в молоке коров с гомозиготным генотипом GG по SNP ARS-BFGL-NGS-41348 составил 2,171 г / 100 г, что было в 1,49 раза выше при $p \leq 0,01$ по сравнению с молоком коров, обладающих гетерозиготным генотипом AG. Животные с гомозиготным генотипом AA по SNP BTA-115852-no-rs превосходили по количеству насыщенных жирных кислот в составе молочного жира животных с гетерозиготным генотипом AG при $p \leq 0,05$ на 26 %. Величина данного показателя у животных с гомозиготным генотипом TT по SNP Нарmap46159-BTA-70956 была выше по сравнению с животными носителями генотипа Нарmap46159-BTA-70956^{AT} в 1,57 раза при $p \leq 0,001$.

Концентрация насыщенных жирных кислот в жировой фракции молока коров с гомозиготным генотипом GG по SNP BTV-00771463 превышала при $p \leq 0,05$ их уровень в молоке коров с генотипами BTV-00771463^{AG} и BTV-00771463^{AA} в 1,59 и 1,94 раза соответственно. По SNP ARS-BFGL-NGS-5502 максимальное содержание насыщенных жирных кислот установлено в молочном жире у коров с гетерозиготным генотипом AG, что составило 2,032 г / 100 г и превосходило значение данного показателя у животных с генотипом GG на 4,4 %, с генотипом AA – в 1,38 раза.

Согласно полученным данным, количество мононенасыщенных жирных кислот в молоке коров с различными генотипами по исследуемым SNP изменялось в диапазоне от 0,515 до 0,959 г / 100 г, при этом наименьшее значение отмечено по SNP Нарmap46159-BTA-70956, наибольшее – по SNP BTV-00771463.

Количество мононенасыщенных жирных кислот в молоке коров исследуемого поголовья характеризуется средним значением по сравнению с насыщенными и полиненасыщенными кислотами. Максимальная концентрация мононенасыщенных жирных кислот в составе жировой фракции молока установлена у животных носителей гомозиготного генотипа SNP BTV-00771463^{GG} – 0,959 г / 100 г, что в 1,5 раза превышает содержание их в молоке коров с гетерозиготным генотипом BTV-00771463^{AG} и в 1,71 раза – с гомозиготным генотипом BTV-00771463^{AA}.

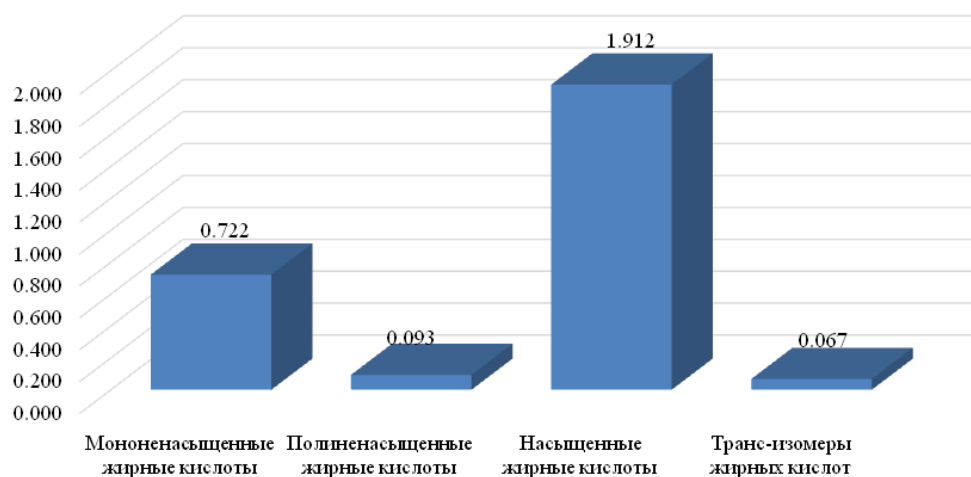


Рис. 6. Среднее количество жирных кислот в молоке коров, г / 100 г

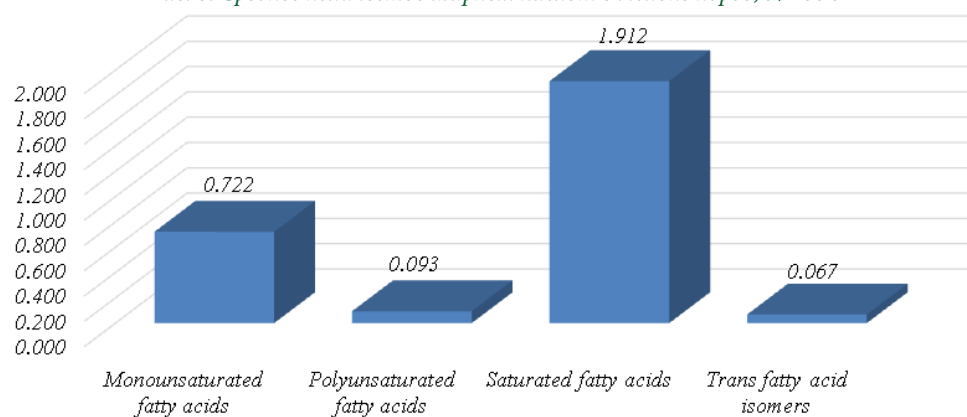


Fig. 6. Average amount of fatty acids in cow's milk, g / 100 g

По данному признаку установлено превосходство животных с гомозиготными генотипами по SNP ARS-BFGL-NGS-41348, BTB-00771463 и Нармар46159-BTA-70956, с гетерозиготным генотипом по SNP ARS-BFGL-NGS-5502. Разница в 31,9 % была достоверна при $p \leq 0,05$ для животных с генотипом ARS-BFGL-NGS-41348^{GG} с коровами носителями ARS-BFGL-NGS-41348^{AG}. Уровень содержания мононенасыщенных жирных кислот в молоке коров с генотипом ARS-BFGL-NGS-5502^{AG} был выше, чем у аналогов с генотипами GG и AA при $p \leq 0,05$ на 6,8 и 39 % соответственно. В молоке коров с генотипом BTB-00771463^{GG} концентрация летучих жирных кислот с одной двойной связью была выше относительно животных с генотипами AA и AG при $p \leq 0,05$ в 1,71 и 1,50 раза. По SNP Нармар46159-BTA-70956 животные с генотипом TT по величине данного показателя превосходили коров с генотипом AT на 43,7 % при $p \leq 0,001$.

Содержание полиненасыщенных жирных кислот в молоке коров рассматриваемого поголовья было закономерно ниже уровня насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот и находилось в диапазоне от 0,074 до 0,116 г / 100 г. При этом прослеживалась такая же закономерность их рас-

пределения по генотипам SNP, как и при анализе SNP, ассоциированных с содержанием в молоке насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот. Так, по SNP ARS-BFGL-NGS-41348, BTA-115852-no-rs, BTB-00771463 и Нармар46159-BTA-70956 наибольшее количество коров имело гомозиготные генотипы, и только по SNP ARS-BFGL-NGS-5502 основная масса животных представлена носителями гетерозиготного генотипа AG.

Самая высокая концентрация полиненасыщенных жирных кислот в молочном жире установлена по SNP BTB-00771463 у коров с генотипом GG, что было на 43,2 и 38,1 % выше относительно генотипов AA и AG. Наиболее низкий уровень содержания этих составляющих жировой фазы молока отмечен по SNP ARS-BFGL-NGS-5502 у животных с генотипом AA. Достоверная разница по величине данного показателя была выявлена по SNP Нармар46159-BTA-70956 между генотипами животных TT и AT. У коров – носителей генотипа Нармар46159-BTA-70956^{TT} массовая доля полиненасыщенных жирных кислот в молоке была выше на 25 % по сравнению с животными – носителями генотипа Нармар46159-BTA-70956^{AT}.

Таблица 1
Связь генотипов SNP с содержанием жирных кислот в зависимости от насыщенности водородных связей

Генотип	n	Мононенасыщенные жирные кислоты		Полиненасыщенные жирные кислоты		Насыщенные жирные кислоты		Транс-изомеры жирных кислот	
		X ± Sx	Cv	X ± Sx	Cv	X ± Sx	Cv	X ± Sx	Cv
ARS-BFGL-NGS-41348	AA	-	-	-	-	-	-	-	-
	AG	0,601 ± 0,031	20,63	0,083 ± 0,003	14,80	1,460 ± 0,088	24,02	0,059 ± 0,005	35,20
	GG	0,793 ± 0,076*	53,51	0,099 ± 0,007	42,01	2,171 ± 0,226**	57,97	0,073 ± 0,008	62,97
ARS-BFGL-NGS-5502	AA	0,556 ± 0,039	20,09	0,074 ± 0,006	23,82	1,468 ± 0,156	30,08	0,044 ± 0,007	45,73
	AG	0,773 ± 0,085*	55,21	0,098 ± 0,008*	41,96	2,032 ± 0,246	60,44	0,076 ± 0,009**	57,96
	GG	0,724 ± 0,081	43,14	0,095 ± 0,007*	29,03	1,949 ± 0,275	54,56	0,065 ± 0,009	53,82
BTA-115852-no-rs	AA	0,733 ± 0,056	51,02	0,094 ± 0,005	38,35	1,946 ± 0,170*	57,93	0,068 ± 0,006	59,74
	AG	0,593 ± 0,043	14,36	0,081 ± 0,005	13,53	1,539 ± 0,093	12,18	0,057 ± 0,011	37,76
	AA	0,560 ± 0,043	25,62	0,081 ± 0,003	12,07	1,37 ± 0,119	28,84	0,061 ± 0,008	44,49
BTB-00771463	AG	0,640 ± 0,031	22,66	0,084 ± 0,003	19,23	1,674 ± 0,102	28,49	0,057 ± 0,005	38,79
	GG	0,959 ± 0,141*	57,05	0,116 ± 0,014*	46,05	2,658 ± 0,415**	60,50	0,088 ± 0,015	65,69
	AT	0,515 ± 0,024	9,53	0,076 ± 0,004	10,89	1,256 ± 0,077	12,33	0,062 ± 0,015	49,48
TT	0,740 ± 0,056***	50,11	0,095 ± 0,005**	38,00	1,972 ± 0,168***	56,52	0,068 ± 0,006	59,66	

Table 1
Relationship between SNP genotypes and fatty acid content depending on the saturation of hydrogen bonds

SNP	Genotype	n	Monounsaturated fatty acids		Polyunsaturated fatty acids		Saturated fatty acids		Trans fatty acid isomers	
			X ± Sx	Cv	X ± Sx	Cv	X ± Sx	Cv	X ± Sx	Cv
ARS-BFGL-NGS-41348	AA	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	AG	33	0,601 ± 0,031	20,63	0,083 ± 0,003	14,80	1,460 ± 0,088	24,02	0,059 ± 0,005	35,20
	GG	65	0,793 ± 0,076*	53,51	0,099 ± 0,007	42,01	2,171 ± 0,226**	57,97	0,073 ± 0,008	62,97
ARS-BFGL-NGS-5502	AA	17	0,556 ± 0,039	20,09	0,074 ± 0,006	23,82	1,468 ± 0,156	30,08	0,044 ± 0,007	45,73
	AG	52	0,773 ± 0,085*	55,21	0,098 ± 0,008*	41,96	2,032 ± 0,246	60,44	0,076 ± 0,009**	57,96
	GG	31	0,724 ± 0,081	43,14	0,095 ± 0,007*	29,03	1,949 ± 0,275	54,56	0,065 ± 0,009	53,82
BTA-115852-no-rs	AA	92	0,733 ± 0,056	51,02	0,094 ± 0,005	38,35	1,946 ± 0,170*	57,93	0,068 ± 0,006	59,74
	AG	8	0,593 ± 0,043	14,36	0,081 ± 0,005	13,53	1,539 ± 0,093	12,18	0,057 ± 0,011	37,76
	AA	23	0,560 ± 0,043	25,62	0,081 ± 0,003	12,07	1,370 ± 0,119	28,84	0,061 ± 0,008	44,49
BTB-00771463	AG	46	0,640 ± 0,031	22,66	0,084 ± 0,003	19,23	1,674 ± 0,102	28,49	0,057 ± 0,005	38,79
	GG	31	0,959 ± 0,141*	57,05	0,116 ± 0,014*	46,05	2,658 ± 0,415**	60,50	0,088 ± 0,015	65,69
	AT	8	0,515 ± 0,024	9,53	0,076 ± 0,004	10,89	1,256 ± 0,077	12,33	0,062 ± 0,015	49,48
TT	92	0,740 ± 0,056***	50,11	0,095 ± 0,005**	38,00	1,972 ± 0,168***	56,52	0,068 ± 0,006	59,66	

В целом по изучаемому поголовью величина значения коэффициента вариации по содержанию транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот в составе молочного жира коров имела более высокие значения, чем по другим показателям, но при этом диапазон колебаний был более узким – от 35,20 до 65,69 г / 100 г. Доля транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот составила 72,2 % от общего содержания ненасыщенных жирных кислот в молоке коров исследуемого поголовья. Наиболее высокий уровень содержания транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот установлен в молоке коров с гомозиготным генотипом SNP ВТВ-00771463^{GG}, что составило 0,088 г / 100 г и было выше этого значения по сравнению с животными носителями генотипов SNP ВТВ-00771463^{AA} и SNP ВТВ-00771463^{AG} в 1,44 и 1,54 раза. В жировой фракции молока этих коров доля транс-изомеров составила 75,8 % от общего содержания ненасыщенных жирных кислот, также было наиболее высокое содержание полиненасыщенных, мононенасыщенных и насыщенных жирных кислот. Достоверные различия по содержанию в молоке коров транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот выявлены только по SNP ARS-BFGL-NGS-5502. Так, наибольшее значение уровня транс-изомеров по данному SNP установлено в молоке коров с гетерозиготным генотипом AG и составило 0,076 г / 100 г, что на 0,011 и 0,032 г / 100 г ($p \leq 0,01$) больше по сравнению молоком животных носителей генотипов GG и AA соответственно.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

С целью определения взаимосвязи генотипов SNP с содержанием жирных кислот и транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот в молоке коров были исследованы генотипы 55 SNP, при этом достоверные значения разницы продуктивных показателей между генотипами установлены толь-

ко по пяти: ARS-BFGL-NGS-41348; ARS-BFGL-NGS-5502; ВТА-115852-no-rs; ВТВ-00771463; Нармар46159-ВТА-70956. Анализ распределения генотипов показал, что из пяти SNP только у трех SNP выявлены три генотипа, у двух SNP по отобранному поголовью установлены только два гетерозиготных генотипа и один гомозиготный.

При анализе полученных данных установлена определенная взаимосвязь: так, по всем исследуемым SNP максимальные и минимальные значения моно-, полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот определены в одних и тех же генотипах. Наибольшее значение как содержания жирных кислот, так и транс-изомеров ненасыщенных жирных кислот выявлено по SNP ВТВ-00771463.

Высокодостоверные показатели разницы содержания всех групп жирных кислот в молоке исследуемого поголовья получены по SNP Нармар46159-ВТА-70956. Так, количество моно-, полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот в молоке коров с гомозиготным генотипом Нармар46159-ВТА-70956^{TT} превосходило уровень гетерозиготного генотипа Нармар46159-ВТА-70956^{AT} на 0,225 г / 100 г ($p \leq 0,001$), 0,019 г / 100 г ($p \leq 0,01$) и 0,716 г / 100 г ($p \leq 0,001$) соответственно.

По гену ARS-BFGL-NGS-5502 установлена статистически значимая разница по уровню содержания в молоке транс-изомеров жирных кислот. Коровы с генотипом ARS-BFGL-NGS-5502^{AG} достоверно превосходили животных с генотипами ARS-BFGL-NGS-5502^{AA} и ARS-BFGL-NGS-5502^{GG} по содержанию транс-изомеров в 1,7 ($p \leq 0,01$) и 1,2 раза соответственно.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-26-00196.

Библиографический список

1. Khalikova M. Consumer preferences for dairy fat-based products // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 12-8 (80). Pp. 42–46.
2. Badu M., Awudza A. J. Determination of the triacylglycerol content for the identification and assessment of purity of shea butter fat, peanut oil, and palm kernel oil using maldi-tof/tof mass spectroscopic technique // International Journal of Food Properties. 2017. No. 20 (2). Pp. 271–280.
3. Queirós M. S., Grimaldi R., Gigante M. L. Addition of Olein from Milk Fat Positively Affects the Firmness of Butter // Food Research International. 2016. No. 84. Pp. 69–75.
4. Małkowska M., Staniewski B., Ziajka J. Analyses of milk fat crystallization and milk fat fractions // International Journal of Food Properties. 2021. Vol. 24. No. 1. Pp. 325–336, DOI: 10.1080/10942912.2021.1878217.
5. Лашнева И. А., Сермягин А. А. Влияние наличия транс-изомеров жирных кислот в молоке на его состав и продуктивность коров // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 3. С. 46–50. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10309.
6. Fangting Zhou, Jie Xue. Xi Shan. Lihua Qiu, Yongwang Miao Functional roles for AGPAT6 in milk fat synthesis of buffalo mammary epithelial cells // Animal Biotechnology. 2023. Vol. 34. No. 7. Pp. 2120–2131. DOI: 10.1080/10495398.2022.2077738.
7. Hao Qi, Gang Lin, Siqi Guo, Xudong Guo, Congying Yu, Minghui Zhang & Xuejun Gao. Met stimulates ARID1A degradation and activation of the PI3K-SREBP1 signaling to promote milk fat synthesis in bovine mammary epithelial cells // Animal Biotechnology. 2023. DOI: 10.1080/10495398.2023.2265167.

8. Mohan M. S., O'Callaghan T. F., Kelly P., Hogan S. A. Milk fat: opportunities, challenges and innovation // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. Vol. 61. No. 14. Pp. 2411–2443. DOI: 10.1080/10408398.2020.1778631.
9. Yong-Zhen Huang, Qin Wang; Chun-Lei Zhang, Xing-Tang Fang, En-Liang Song & Hong Chen Genetic Variants in SDC3 Gene are Significantly Associated with Growth Traits in Two Chinese Beef Cattle Breeds // *Animal Biotechnology*. 2016. Vol. 27. No. 3. Pp. 190–198, DOI: 10.1080/10495398.2016.1164178.
10. Mozaffarian D., Aro A., Willet W.C. Health effects of trans-fatty acids: Experimental and observational evidence // *European journal of clinical nutrition*. 2019. Vol. 63. Pp. S5–S21.
11. Qin Guo, Tian Li, Yang Qu, Manzhu Liang, Yiming Ha, Yu Zhang, Qiang Wang. New research development on trans fatty acids in food: Biological effects, analytical methods, formation mechanism, and mitigating measures // *Progress in Lipid Research*. 2023. Vol. 89. Article number 101199. DOI: 10.1016/j.plipres.2022.101199.
12. Pipoyan D., Stepanyan S., Stepanyan S., Beglaryan M., Costantini L., Molinari R., Merendino N. The Effect of Trans Fatty Acids on Human Health: Regulation and Consumption Patterns // *Foods*. 2021. No. 10 (10). Article number 2452. DOI: 10.3390/foods10102452.
13. Li C., Cobb L. K., Vesper H. W., Asma S. Global Surveillance of trans-Fatty Acids // *Preventing Chronic Disease*. 2019. No. 16. DOI: 10.5888/pcd16.190121.
14. Huang L., Federico E., Jones A., Wu J. H. Y. Presence of trans fatty acids containing ingredients in pre-packaged foods in Australia in 2018 // *Australian and New Zealand Journal of Public Health*. 2020. No. 44 (5). Pp. 419–420. DOI: 10.1111/1753-6405.13014.
15. Beak S. H., Lee Y., Lee E. B., Kim K. H., Kim J. G., Bok J. D., Kang S. K. Study on the fatty acid profile of phospholipid and neutral lipid in Hanwoo beef and their relationship to genetic variation // *Journal of Animal Science and Technology*. 2019. No. 61 (2). Pp. 69–76. DOI: 10.5187/jast.2019.61.2.69.
16. Li M., Gao Q., Wang M., Liang Y., Sun Y., Chen Z., Zhang H., Karrow N.A., Yang Z., Mao Y. Polymorphisms in Fatty Acid Desaturase 2 Gene Are Associated with Milk Production Traits in Chinese Holstein Cows // *Animals*. 2020. No. 10. Article number 671. DOI: 10.3390/ani10040671.
17. Cobanoglu O., Kul E., Gurcan E.K., Abaci S.H., Cankaya S. Determination of the association of GHR/AluI gene polymorphisms with milk yield traits in Holstein and Jersey cattle raised in Turkey // *Archives Animal Breeding*. 2021. No. 64 (2). Pp. 417–424. DOI: 10.5194/aab-64-417-2021.
18. Samková E., Čitek J., Brzáková M., Hanuš O., Večerek L., Jozová E., Hoštičková I., Trávníček J., Hasoňová L., Rost M., Hálová K., Špička J. Associations among Farm, Breed, Lactation Stage and Parity, Gene Polymorphisms and the Fatty Acid Profile of Milk from Holstein. Simmental and Their Crosses // *Animals*. 2021. No. 11. Article number 3284. DOI: 10.3390/ani11113284.
19. Zaalberg R. M., Shetty N., Janss L. et al. Genetic analysis of Fourier transform infrared milk spectra in Danish Holstein and Danish Jersey // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102. Pp. 503–510. DOI: 10.3168/jds.2018-14464.
20. Jiang J., Ma L., Prakapenka D., VanRaden P. M., Cole J. B., Da Y. A Large-Scale Genome-Wide Association Study in U.S. Holstein Cattle // *Frontiers in Genetics*. 2019. DOI: 10.3389/fgene.2019.00412.
21. Pegolo S., Yu H., Morota G., Bisutti V., Rosa G.J.M., Bittante G., Cecchinato A. Structural equation modeling for unraveling the multivariate genomic architecture of milk proteins in dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2021. No. 104 (5). Pp. 5705–5718. DOI: 10.3168/jds.2020-18321.
22. Лашнева И. А., Сермягин А. А., Елизарова И. В. [и др.] Показатели продуктивности коров в связи с уровнем транс-изомеров жирных кислот в молоке // *Повышение конкурентоспособности животноводства и задачи кадрового обеспечения: материалы XXV международной научно-практической конференции. Быково, 2019. С. 184–191.*

Об авторах:

Алексей Владимирович Степанов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0002-8523-5938, AuthorID 694790; +7 912 692-03-31, alexystepanow@mail.ru

Ольга Александровна Быкова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503; +7 950 542-94-34, olbyk75@mail.ru

Ольга Васильевна Костюнина, доктор биологических наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325; +7 903 741-56-35, kostolan@yandex.ru
Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

References

1. Khalikova M. Consumer preferences for dairy fat-based products // Actual scientific research in the modern world. 2021. No. 12-8 (80). Pp. 42–46.
2. Badu M., Awudza A. J. Determination of the triacylglycerol content for the identification and assessment of purity of shea butter fat, peanut oil, and palm kernel oil using maldi-tof/tof mass spectroscopic technique // International Journal of Food Properties. 2017. No. 20 (2). Pp. 271–280.
3. Queirós M. S., Grimaldi R., Gigante M. L. Addition of Olein from Milk Fat Positively Affects the Firmness of Butter // Food Research International. 2016. No. 84. Pp. 69–75.
4. Małkowska M., Staniewski B., Ziajka J. Analyses of milk fat crystallization and milk fat fractions // International Journal of Food Properties. 2021. Vol. 24. No. 1. Pp. 325–336, DOI: 10.1080/10942912.2021.1878217.
5. Lashneva I. A., Sermyagin A. A. Vliyaniye nalichiya transizomerov zhirnykh kislot v moloke na yego sostav i produktivnost' korov [The influence of the presence of trans-isomers of fatty acids in milk on its composition and productivity of cows] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2020. Vol. 34. No. 3. Pp. 46–50. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10309. (In Russian.)
6. Fangting Zhou, Jie Xue. Xi Shan. Lihua Qiu, Yongwang Miao Functional roles for AGPAT6 in milk fat synthesis of buffalo mammary epithelial cells // Animal Biotechnology. 2023. Vol. 34. No. 7. Pp. 2120–2131. DOI: 10.1080/10495398.2022.2077738.
7. Hao Qi, Gang Lin, Siqi Guo, Xudong Guo, Congying Yu, Minghui Zhang & Xuejun Gao. Met stimulates ARID1A degradation and activation of the PI3K-SREBP1 signaling to promote milk fat synthesis in bovine mammary epithelial cells // Animal Biotechnology. 2023. DOI: 10.1080/10495398.2023.2265167.
8. Mohan M. S., O'Callaghan T. F., Kelly P., Hogan S. A. Milk fat: opportunities, challenges and innovation // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. Vol. 61. No. 14. Pp. 2411–2443. DOI: 10.1080/10408398.2020.1778631.
9. Yong-Zhen Huang, Qin Wang; Chun-Lei Zhang, Xing-Tang Fang, En-Liang Song & Hong Chen Genetic Variants in SDC3 Gene are Significantly Associated with Growth Traits in Two Chinese Beef Cattle Breeds // Animal Biotechnology. 2016. Vol. 27. No. 3. Pp. 190–198, DOI: 10.1080/10495398.2016.1164178.
10. Mozaffarian D., Aro A., Willet W.C. Health effects of trans-fatty acids: Experimental and observational evidence // European journal of clinical nutrition. 2019. Vol. 63. Pp. S5–S21.
11. Qin Guo, Tian Li, Yang Qu, Manzhu Liang, Yiming Ha, Yu Zhang, Qiang Wang. New research development on trans fatty acids in food: Biological effects, analytical methods, formation mechanism, and mitigating measures // Progress in Lipid Research. 2023. Vol. 89. Article number 101199. DOI: 10.1016/j.plipres.2022.101199.
12. Pipoyan D., Stepanyan S., Stepanyan S., Beglaryan M., Costantini L., Molinari R., Merendino N. The Effect of Trans Fatty Acids on Human Health: Regulation and Consumption Patterns // Foods. 2021. No. 10 (10). Article number 2452. DOI: 10.3390/foods10102452.
13. Li C., Cobb L. K., Vesper H. W., Asma S. Global Surveillance of trans-Fatty Acids // Preventing Chronic Disease. 2019. No. 16. DOI: 10.5888/pcd16.190121.
14. Huang L., Federico E., Jones A., Wu J. H. Y. Presence of trans fatty acids containing ingredients in pre-packaged foods in Australia in 2018 // Australian and New Zealand Journal of Public Health. 2020. No. 44 (5). Pp. 419–420. DOI: 10.1111/1753-6405.13014.
15. Beak S. H., Lee Y., Lee E. B., Kim K. H., Kim J. G., Bok J. D., Kang S. K. Study on the fatty acid profile of phospholipid and neutral lipid in Hanwoo beef and their relationship to genetic variation // Journal of Animal Science and Technology. 2019. No. 61 (2). Pp. 69–76. DOI: 10.5187/jast.2019.61.2.69.
16. Li M., Gao Q., Wang M., Liang Y., Sun Y., Chen Z., Zhang H., Karrow N.A., Yang Z., Mao Y. Polymorphisms in Fatty Acid Desaturase 2 Gene Are Associated with Milk Production Traits in Chinese Holstein Cows // Animals. 2020. No. 10. Article number 671. DOI: 10.3390/ani10040671.
17. Cobanoglu O., Kul E., Gurcan E.K., Abaci S.H., Cankaya S. Determination of the association of GHR/AluI gene polymorphisms with milk yield traits in Holstein and Jersey cattle raised in Turkey // Archives Animal Breeding. 2021. No. 64 (2). Pp. 417–424. DOI: 10.5194/aab-64-417-2021.
18. Samková E., Čitek J., Brzáková M., Hanuš O., Večerek L., Jozová E., Hoštičková I., Trávníček J., Hasoňová L., Rost M., Hálková K., Špička J. Associations among Farm, Breed, Lactation Stage and Parity, Gene Polymorphisms and the Fatty Acid Profile of Milk from Holstein. Simmental and Their Crosses // Animals. 2021. No. 11. Article number 3284. DOI: 10.3390/ani11113284.
19. Zaalberg R. M., Shetty N., Janss L. et al. Genetic analysis of Fourier transform infrared milk spectra in Danish Holstein and Danish Jersey // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102. Pp. 503–510. DOI: 10.3168/jds.2018-14464.
20. Jiang J., Ma L., Prakapenka D., VanRaden P. M., Cole J. B., Da Y. A Large-Scale Genome-Wide Association Study in U.S. Holstein Cattle // Frontiers in Genetics. 2019. DOI: 10.3389/fgene.2019.00412.

21. Pegolo S., Yu H., Morota G., Bisutti V., Rosa G.J.M., Bittante G., Cecchinato A. Structural equation modeling for unraveling the multivariate genomic architecture of milk proteins in dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2021. No. 104 (5). Pp. 5705–5718. DOI: 10.3168/jds.2020-18321.
22. Lashneva I. A., Sermyagin A. A., Elizarova I. V. et al. Pokazateli produktivnosti korov v svyazi s urovnem transizomerov zhirnykh kislot v moloke [Indicators of cow productivity in relation to the level of trans fatty acids in milk] // *Povyshenie konkurentosposobnosti zhivotnovodstva i zadachi kadrovogo obespecheniya: materialy XXV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Bykovo, 2019. Pp. 184–191. (In Russian.)

Authors information:

Aleksey V. Stepanov¹, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0002-8523-5938, AuthorID 694790; +7 912 692-03-31, alexystepanow@mail.ru

Olga A. Bykova¹, doctor of agricultural sciences, professor of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503; +7 950 542-94-34, olbyk75@mail.ru

Olga V. Kostyunina¹, doctor of biological sciences, professor of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325; +7 903 741-56-35, kostolan@yandex.ru

Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Эффективность производства говядины при чистопородном разведении французских мясных пород скота

О. М. Шевелева[✉], А. А. Бахарев

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

[✉]E-mail: Olgasheveleva@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – изучить эффективности производства говядины от специализированных мясных пород скота французского происхождения в сравнении с герефордской породой. **Материалы и методы.** Использованы зоотехнические, статистические и экономические методы. **Результаты исследований.** Изучены показатели весового роста и мясной продуктивности крупного рогатого скота пород шароле, салерс, обрак, лимузинской в сравнении с герефордской породой. **Научная новизна** заключается в том, что впервые в условиях Западной Сибири проведено сравнительное изучение показателей весового роста от рождения до 18-месячного возраста и мясной продуктивности французских мясных пород скота с герефордской породой. **Результаты.** Проведенными исследованиями установлено преимущество в живой массе и интенсивности роста французских мясных пород скота. Наибольшая живая масса в 18 месяцев была у быков породы шароле – 569,4 кг, что больше, чем у быков I группы, на 53 кг (10,2 %) ($p \leq 0,001$). На втором месте по величине живой массы были быки породы обрак – 552,4 кг, что достоверно больше сверстников I группы на 35,7 кг (10,3 %) ($p \leq 0,001$). При интенсивном выращивании наиболее высокая энергия роста была продемонстрирована бычками французских мясных пород (903,8–966,1). При убое в возрасте 15 и 18 месяцев получены тяжеловесные туши животных. Туши бычков французских пород при убое в 15 месяцев имели большую массу на 10,6–23,5 кг. К 18 месяцам масса парных туш увеличилась до 286,6–318,5 кг. Экономический анализ результатов исследований свидетельствует, что при производстве говядины от крупного рогатого скота породы шароле уровень рентабельности составляет 66,5 %, герефордской породы – 60,6 %, салерс и обрак – 62,3, лимузинской – 56,4 %.

Ключевые слова: породы, герефордская, шароле, лимузинская, салерс, обрак, живая масса, среднесуточный прирост, убойная масса, убойный выход.

Для цитирования: Шевелева О. М., Бахарев А. А. Эффективность производства говядины при чистопородном разведении французских мясных пород скота // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 119–127. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-119-127.

Дата поступления статьи: 04.05.2023, **дата рецензирования:** 15.06.2023, **дата принятия:** 22.06.2023.

Efficiency of beef production in the purebred breeding of French beef cattle breeds

О. М. Sheveleva[✉], А. А. Bakharev

Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

[✉]E-mail: Olgasheveleva@mail.ru

Abstract. The purpose is to study the efficiency of beef production from specialized meat breeds of cattle of French origin in comparison with the Hereford breed. **Methods.** Zootechnical, statistical and economic methods were used. **Results.** As a result of the conducted scientific and economic experience, the indicators of weight growth and meat productivity of cattle of the Charolais, Salers, Aubrac, Limousin breeds were studied in comparison with the Hereford cattle breed. **Scientific novelty** consists in the fact that for the first time in the conditions of Western Siberia, a comparative study of the indicators of weight growth from birth to 18 months of age and meat

productivity of French beef cattle breeds with the Hereford breed was carried out. The conducted research has established the advantage in live weight and growth intensity of French beef cattle breeds. The largest live weight at 18 months was in Charolais bulls – 569.4 kg, which is more than in group I bulls by 53 kg (10.2 %) ($p \leq 0.001$). In second place in terms of live weight were the bulls of the Obrak breed – 552.4 kg, which is significantly more than the peers of group I by 35.7 kg (10.3 %) ($p \leq 0.001$). With intensive cultivation, the highest growth energy was demonstrated by bulls of French meat breeds 903.8–966.1. When slaughtered at the age of 15 and 18 months, heavy animal carcasses were obtained. Carcasses of French bull calves at slaughter at 15 months had a larger mass by 10.6–23.5 kg. By 18 months, the mass of paired carcasses increased to 286.6–318.5 kg. Economic analysis of the research results shows that in the production of beef from Charolais cattle, the profitability level is 66.5 %, Hereford breed – 60.6 %, Salers and Aubrac – 62.3, Limousin – 56.4 %.

Keywords: breeds, Hereford, Charolais, Limousin, salers, aubrac, live weight, average daily gain, slaughter weight, slaughter yield.

For citation: Sheveleva O. M., Bakharev A. A. Effektivnost' proizvodstva govyadiny pri chistoporodnom razvedenii frantsuzskikh myasnykh porod skota [Efficiency of beef production in the purebred breeding of French beef cattle breeds] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 119–127. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-119-127. (In Russian.)

Date of paper submission: 04.05.2023, **date of review:** 15.06.2023, **date of acceptance:** 22.06.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В последние десятилетия происходит интенсивное развитие мясного скотоводства. Одним из направлений интенсификации отрасли является увеличение поголовья специализированных мясных пород скота, которые способны к интенсивному откорму, и увеличение производства говядины [1; 2]. Мясное скотоводство позволяет производить высококачественную говядину в условиях Западной Сибири [3]. Мясо, полученное от этих пород, по биологической полноценности и вкусовым качествам можно отнести к ценным продуктам питания. В условиях Западной Сибири разводится несколько пород мясного скота [4; 5]. Начиная с 2000 года получили распространение французские мясные породы скота, с 1955 года разводятся геррефордская порода [5; 6]. Изучение мясной продуктивности новых пород скота, разводимых в стране, является серьезной задачей для научных исследований [8; 9].

Откормочные и мясные качества бычков геррефордской породы скота описаны в трудах Б. О. Инербаева, И. А. Храмцовой, Т. Т. Инербаевой [10]. Сравнительная оценка мясных качеств крупного рогатого скота французских пород с геррефордской произведена в исследованиях С. В. Логинова, М. С. Ивакова [11].

В то же самое время комплексного изучения эффективности производства говядины от пород скота, разводимых в Северном Зауралье, не проводилось. Поэтому сравнительное изучение на выявление наиболее эффективной породы скота, способной в условиях Северного Зауралья производить высококачественную говядину имеет научный и практический интерес.

Цель работы – провести сравнительную оценку эффективности производства говядины от скота разных пород, разводимых в зоне Северного Зауралья.

Задачи исследований:

1. Дать сравнительную оценку весового роста пород скота, разводимых в Северном Зауралье.

2. Установить возрастной характер изменения показателей мясной продуктивности у бычков разных пород скота.

3. Определить экономическую эффективность выращивания бычков мясных пород для производства говядины при реализации их в возрасте 15 и 18 месяцев.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектом исследований послужили бычки мясных пород от рождения до 18-месячного возраста, предметом – изучение весового роста, мясной продуктивности бычков мясных пород скота. При проведении исследований использовались стандартные зоотехнические, статистические и экономические методы.

Исследования выполнены в Омутинском районе Тюменской области в 2021–2022 гг.

Для проведения эксперимента было сформировано пять групп животных, принадлежащих разным породам скота. Бычки геррефордской породы составили первую группу, онп была выбрана в качестве контрольной с учетом длительного периода разведения животных этой породы в условиях Западной Сибири. Последующие группы были сформированы от бычков французских мясных пород: из бычков породы шароле – вторая группа, салерс – третья, обрак – четвертая, бычки лимузинской породы составили пятую группу.

Группы формировались из телят, оцененных при рождении как нормально развитые. Кроме того, учитывались дата рождения и возраст матери. Ко времени отела матери были пятилетнего возраста.

Отъем произведен в возрасте 7 месяцев, до этого периода бычки выращивались на полном подсосе, они находились с матерями. После отъема и

формирования группы бычки поступили на доращивание и откорм. За весь опытный период бычки потребили 3892,4–3992,8 корм. ед., 44402–44584 МДж бменной энергии, 340,5–350,4 кг переваримого протеина.

Для определения живой массы производилось взвешивание животных при рождении, в 7, 12, 15, и 18 месяцев. Полученные данные по живой массе позволили произвести расчет среднесуточных приростов бычков по периодам.

Мясная продуктивность была изучена при проведении контрольного убоя животных на убойном пункте ООО «Бизон» Омутинского района. Контрольный убой произведен в возрасте 15 и 18 месяцев, для этого было отобрано по три животных методом случайной выборки из каждой группы. Контрольный убой проведен по методике СибНИПТИЖ, СибНИИМС [12].

Экономическую оценку результатов производства говядины от специализированных мясных пород скота проводили с учетом производственных затрат и выручки, полученной при реализации продукции, прибыли, рентабельности в соответствии с общепринятыми методиками. Цифровой материал обработан методом вариационной статистики по общепринятым методам в программе Microsoft Office [13; 14].

Результаты (Results)

Породная принадлежность бычков отразилась на их живой массе. Изменение живой массы бычков в разные возрастные периоды можно проследить по таблице 1.

Живая масса бычков I группы при рождении составила 28,2 кг, что достоверно меньше, чем у сверстников других групп, на 2,7–10,8 кг (9,6–38,3 %). Бычки первой группы по величине живой массы

уступали бычкам II–V групп в последующие возрастные периоды. Принадлежность к породе сказалась в следующие возрастные периоды. При отъеме от матерей бычки всех групп характеризовались хорошим развитием и высокой живой массой. Наибольшая разница 39,0 кг (19,9 %) ($p \leq 0,001$) была между бычками I и II группами, разница в живой массе между бычками I и III группы – 23 кг (11,8 %) ($p \leq 0,001$), I и V группами – 15,2 кг (7,8 %) ($p \leq 0,01$).

По величине живой массы в возрасте 12 месяцев бычки II–V групп достоверно превосходят сверстников I группы на 33–59,6 кг. В заключительные периоды выращивания эта закономерность сохраняется. Так, в возрасте 15 месяцев живая масса бычков II группы составила 489,8 кг, что больше, чем средняя живая масса бычков I группы, на 61,1 кг (17,4 %) ($p \leq 0,001$). Бычки III группы превышают сверстников I группы на 48 кг (16,9 %), IV и V – соответственно на 34,4 (9,7 %) ($p \leq 0,001$) и 17,5 кг (144 %) ($p \leq 0,05$).

К окончанию научно-хозяйственного опыта живая масса была у быков II группы достигла 569,4 кг, что превышает эту величину у бычков I группы на 53 кг (10,2 %) ($p \leq 0,001$). Живая масса бычков IV группы – 552,4 кг, что достоверно больше, чем у сверстников I группы, на 35,7 кг (10,3 %) ($p \leq 0,001$). Разница между живой массой V и I групп составила 13 кг (10,6 %) ($p \leq 0,001$), III и I – 35,7 кг (10,3%). Таким образом, на величину живой массы бычков в разные возрастные периоды оказала влияние их принадлежность к определенной породе скота. Животные французских мясных пород (II–V групп) имели преимущество в величине живой массы по сравнению с бычками герфордской породы (I группы).

Таблица 1
Живая масса бычков по периодам роста, кг ($M \pm m$)

Возраст, мес.	Группа				
	I	II	III	IV	V
0	28,2 ± 0,74	39,0 ± 1,95 ³	36,8 ± 0,94 ³	30,9 ± 0,76 ¹	33,2 ± 1,20 ²
7	195,2 ± 2,60	234,2 ± 2,31 ³	218,2 ± 3,12 ³	200,4 ± 3,12	210,4 ± 2,56 ³
12	341,2 ± 5,2	400,8 ± 3,21 ³	389,2 ± 3,20 ³	374,2 ³ ± 4,12 ³	390,4 ± 3,41 ³
15	428,7 ± 6,15	489,8 ± 4,61 ³	476,5 ± 2,10 ³	463,1 ± 3,97 ³	446,2 ± 4,12 ²
18	516,4 ± 0,23	569,4 ± 4,98 ³	542,8 ± 5,14 ³	552,4 ± 6,29 ³	529,4 ± 5,16 ¹

* Здесь и далее $p \leq 0,05^1$, $p \leq 0,01^2$, $p \leq 0,001^3$.

Table 1
Live weight of bulls by periods, height kg ($M \pm m$)

Age, months	Group				
	I	II	III	IV	V
0	28.2 ± 0.74	39.0 ± 1.95 ³ *	36.8 ± 0.94 ³	30.9 ± 0.76 ¹	33.2 ± 1.20 ²
7	195.2 ± 2.60	234.2 ± 2.31 ³	218.2 ± 3.12 ³	200.4 ± 3.12	210.4 ± 2.56 ³
12	341.2 ± 5.2	400.8 ± 3.21 ³	389.2 ± 3.20 ³	374.2 ³ ± 4.12 ³	390.4 ± 3.41 ³
15	428.7 ± 6.15	489.8 ± 4.61 ³	476.5 ± 2.10 ³	463.1 ± 3.97 ³	446.2 ± 4.12 ²
18	516.4 ± 0.23	569.4 ± 4.98 ³	542.8 ± 5.14 ³	552.4 ± 6.29 ³	529.4 ± 5.16 ¹

* Here and further $p \leq 0.05^1$, $p \leq 0.01^2$, $p \leq 0.001^3$.

Таблиц 2

Динамика среднесуточных приростов, г

Возрастной период, мес.	Группа				
	I	II	III	IV	V
0–7	784,0 ± 21,02	916,4 ± 28,7 ³	851,6 ± 30,2 ³	795,8 ± 16,8 ²	831,9 ± 15,9 ²
7–12	960,5 ± 75,61	1096,5 ± 28,1 ³	1125,0 ± 38,2 ³	1143,3 ± 24,1 ³	1184,2 ± 16,5 ³
12–15	951,0 ± 37,52	967,4 ± 27,5	948,9 ± 39,3	966,3 ± 40,1	606,5 ± 38,2
15–18	953,2 ± 45,21	865,2 ± 42,1	720,6 ± 38,9 ³	967,3 ± 52,2	904,3 ± 34,1
7–15	956,7 ± 75,45	1047,5 ± 27,2 ²	1058,7 ± 37,4	1076,6 ± 252	966,4 ± 17,0
7–18	958,9 ± 74,25	1000,6 ± 26,1 ³	969,0 ± 36,2 ²	1050,0 ± 24,1	952,2 ± 16,8
0–15	876,4 ± 21,02	986,4 ± 19,9 ³	962,1 ± 18,5 ²	945,8 ± 19,3 ¹	903,4 ± 15,6
0–18	889,2 ± 19,28	966,1 ± 20,2 ²	921,6 ± 92,4	949,6 ± 17,5 ³	903,8 ± 17,2

Table 2

Dynamics of average daily gains, gram

Age period, months	Group				
	I	II	III	IV	V
0–7	784.0 ± 21.02	916.4 ± 28.7 ³	851.6 ± 30.2 ³	795.8 ± 16.8 ²	831.9 ± 15.9 ²
7–12	960.5 ± 75.61	1096.5 ± 28.1 ³	1125.0 ± 38.2 ³	1143.3 ± 24.1 ³	1184.2 ± 16.5 ³
12–15	951.0 ± 37.52	967.4 ± 27.5	948.9 ± 39.3	966.3 ± 40.1	606.5 ± 38.2
15–18	953.2 ± 45.21	865.2 ± 42.1	720.6 ± 38.9 ³	967.3 ± 52.2	904.3 ± 34.1
7–15	956.7 ± 75.45	1047.5 ± 27.2 ²	1058.7 ± 37.4	1076.6 ± 252	966.4 ± 17.0
7–18	958.9 ± 74.25	1000.6 ± 26.1 ³	969.0 ± 36.2 ²	1050.0 ± 24.1	952.2 ± 16.8
0–15	876.4 ± 21.02	986.4 ± 19.9 ³	962.1 ± 18.5 ²	945.8 ± 19.3 ¹	903.4 ± 15.6
0–18	889.2 ± 19.28	966.1 ± 20.2 ²	921.6 ± 92.4	949.6 ± 17.5 ³	903.8 ± 17.2

Среднесуточные приросты бычков представлены в таблице 2.

Высокая интенсивность среднесуточных приростов бычков всех групп объясняется стабильностью кормления, что обеспечивало в процессе роста формирование хорошо развитого желудочно-кишечного тракта животных, и эффективным использованием кормовых рационов. Принадлежность к породе скота оказала влияние на величину среднесуточных приростов по периодам роста. Так, в подсосный период наибольший среднесуточный прирост был у бычков II группы, величина прироста составила 916,4 г, что достоверно превышает эту величину у сверстников I группы на 132,4 г (16,9 %). Разница между приростами бычков III, IV, V групп и сверстниками из первой составила соответственно 67,6 г (8,6 %), 11,7 г (1,5 %), 47,9 г (6,1 %).

Бычки всех групп в период доразивания (7–12 мес.) показали высокие среднесуточные приросты (960–1184 г).

Следует отметить, в период с 12- до 15-месячного возраста наиболее высокая величина прироста у бычков II группы – 967 г. В заключительный период высокий прирост отмечен у животных I группы, что не совсем объясняется биологическими особенностями этой породы, для которых свойственно снижение интенсивности роста. Возможно, это связано с тем, что в данном стаде несколько десятилетий ведется селекция на укрупнение герефордской породы, что и обеспечивает высокую интенсивность роста животным после 15-месячного возраста.

Наиболее высокая величина прироста после окончания молочного периода и до возраста 15 месяцев была у бычков III группы, с отъема до 18 месяцев – у бычков IV группы.

Следует отметить высокую интенсивность роста у бычков всех групп в период опыта. Но при этом у животных II и IV групп величина прироста была достоверно больше по сравнению с I группой. Разница соответственно составила 77,1 (8,7 %) и 60,3 г (6,8 %).

Результаты исследований позволили установить, что бычки II–V групп превосходят сверстников I группы по показателям весового роста.

Контрольный убой животных показал, что уже в возрасте 15 месяцев бычки достигают убойных кондиций и дают технологические туши для перерабатывающей промышленности. Результаты контрольного убоя представлены в таблице 3.

При осмотре туш после убоя мы отметили наличие хорошего жирового полива на их поверхности. Важно отметить, что наибольшая масса туши была у животных II группы – 273 кг, что значительно больше по сравнению с массой туш, полученной от бычков I группы, на 39,5 кг (7,2 %). Разница между массой туш, полученной от первой группы, и II–V групп составляет от 10,6 до 23,5 кг. Необходимо отметить, что наиболее высокий выход жира-сырца получаем от бычков I группы – 10 кг, что больше, чем у других групп, на 5–5,9 кг. Высокая масса жира-сырца повлияла на величину убойного выхода у бычков I группы. Убойный выход у животных I группы составил 59,2 %, что больше по сравнению со сверстниками других групп на 0,3–1,9 %.

Таблица 3
Мясная продуктивность ($n = 3$)

Показатель	Возраст, мес.	Группа				
		I	II	III	IV	V
Предубойная масса, кг	15	412,8 ± 4,83	471,8 ± 8,42 ²	460,8 ± 7,52 ³	440,9 ± 5,84 ²	434,6 ± 6,21 ²
	18	502,5 ± 4,77	547,3 ± 3,68 ³	523,5 ± 48 ³	534,4 ± 4,18	511,6 ± 4,25 ²
Масса парной туши, кг	15	233,6 ± 3,24	273,2 ± 3,24 ³	257,5 ± 4,41 ²	251,8 ± 2,46	244,3 ± 3,62
	18	286,6 ± 2,98	318,5 ± 3,25 ³	295,6 ± 2,98 ²	304,6 ± 2,54	293,1 ± 2,61
Выход туши, %	15	56,7 ± 4,13	57,9 ± 3,76	55,8 ± 5,61	57,1 ± 5,30	56,2 ± 5,45
	18	57,0 ± 0,05	58,2 ± 0,05	56,4 ± 0,06	56,9 ± 0,21	57,3 ± 0,19
Масса жира-сырца, кг	15	10,7 ± 1,20	4,62 ± 0,76 ³	5,07 ± 0,85 ³	5,73 ± 0,76 ³	4,78 ± 1,32 ³
	18	17,6 ± 0,05	13,68 ± 0,06 ³	16,23 ± 0,21 ³	17,10 ± 0,19 ³	14,32 ± 0,24 ³
Выход жира-сырца, %	15	2,6	0,98	1,1	1,3	1,1
	18	3,5	2,5	3,1	3,2	2,8
Убойная масса, кг	15	244,4 ± 3,21	277,8 ± 4,38 ³	262,2 ± 5,48	257,5 ± 5,28	249,1 ± 5,35
	18	304,2 ± 3,02	333,2 ± 3,35 ³	311,5 ± 3,12 ²	321,6 ± 2,31 ²	307,4 ± 2,89 ³
Убойный выход, %	15	59,2	58,9	56,9	58,7	57,3
	18	60,5	60,7	59,5	60,1	60,1

Table 3
Meat productivity ($n = 3$)

Index	Age, months	Group				
		I	II	III	IV	V
Pre-slaughter weight, kg	15	412.8 ± 4.83	471.8 ± 8.42 ²	460.8 ± 7.52 ³	440.9 ± 5.84 ²	434.6 ± 6.21 ²
	18	502.5 ± 4.77	547.3 ± 3.68 ³	523.5 ± 48 ³	534.4 ± 4.18	511.6 ± 4.25 ²
Steam carcass weight, kg	15	233.6 ± 3.24	273.2 ± 3.24 ³	257.5 ± 4.41 ²	251.8 ± 2.46	244.3 ± 3.62
	18	286.6 ± 2.98	318.5 ± 3.25 ³	295.6 ± 2.98 ²	304.6 ± 2.54	293.1 ± 2.61
Carcass yield, %	15	56.7 ± 4.13	57.9 ± 3.76	55.8 ± 5.61	57.1 ± 5.30	56.2 ± 5.45
	18	57.0 ± 0.05	58.2 ± 0.05	56.4 ± 0.06	56.9 ± 0.21	57.3 ± 0.19
Raw fat mass, kg	15	10.7 ± 1.20	4.62 ± 0.76 ³	5.07 ± 0.85 ³	5.73 ± 0.76 ³	4.78 ± 1.32 ³
	18	17.6 ± 0.05	13.68 ± 0.06 ³	16.23 ± 0.21 ³	17.10 ± 0.19 ³	14.32 ± 0.24 ³
Raw fat yield, %	15	2.6	0.98	1.1	1.3	1.1
	18	3.5	2.5	3.1	3.2	2.8
Slaughter weight, kg	15	244.4 ± 3.21	277.8 ± 4.38 ³	262.2 ± 5.48	257.5 ± 5.28	249.1 ± 5.35
	18	304.2 ± 3.02	333.2 ± 3.35 ³	311.5 ± 3.12 ²	321.6 ± 2.31 ²	307.4 ± 2.89 ³
Slaughter yield, %	15	59.2	58.9	56.9	58.7	57.3
	18	60.5	60.7	59.5	60.1	60.1

Все породы животных, находившиеся в эксперименте, продемонстрировали к возрасту 15 месяцев хорошие показатели мясной продуктивности (полномясные туши).

Для того чтобы проследить изменения мясной продуктивности с возрастом животных, мы провели контрольный убой в 18 месяцев. Данные о мясной продуктивности представлены в таблице 3. Масса парной туши, как и в предыдущий период, была наибольшей у животных II группы (318,5 кг), что больше аналогичного показателя I группы на 31,9 кг (11,1 %) ($p \leq 0,0$). Масса туши бычков IV группы составила 304,6 кг, что превышает этот показатель у сверстников I группы на 17,5 кг (5,9 %). Таким образом, интенсивный откорм позволяет получать очень хорошие результаты. Выход туши был наиболее высоким также у животных II группы. От бычков I группы получено на 17,6 кг больше

внутреннего жира. Несмотря на большую величину жира-сырца у животных I группы, наибольшая убойная масса у бычков II группы, она достоверно больше, чем у I группы, на 27,7 кг (9,1 %) при достоверной разнице. Существенной разницы в величине убойного выхода между животными опытных групп не установлено, несмотря на разницу в величине массы туши. Убойный выход у бычков всех групп примерно на одном уровне.

Таким образом, анализ результатов контрольного убоя свидетельствует о влиянии породной принадлежности скота на величину показателей, характеризующих мясную продуктивность.

При производстве говядины очень важно установить, как принадлежность к породе скота скажется на показателях экономической эффективности отрасли. Исходя из этого мы провели расчет показателей экономической эффективности в зависимости

от породной принадлежности животных в условиях одного предприятия. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при выращивании и откорме бычков первой группы получена наименьшая прибыль – 15 561 рубль при реализации скота в возрасте 15 месяцев. Результаты выращивания представлены в таблице 4. При этом прибыль, полученная от бычков II группы, была больше на 2217,9 рубля, III – на 1735 рублей, IV – на 1248 рублей, V – на 636 рублей. Но при этом уровень рентабельности оказался наиболее высоким при реализации бычков I группы – 47,5 %. Это объясняется более высокими затратами при выращивании бычков II–V групп,

на втором месте по рентабельности – II группа. Животные остальных групп по уровню рентабельности уступают сверстникам I и III групп. Таким образом, при более высокой живой массе и большей величине среднесуточных приростов, которые получаем от французских мясных пород, выгодно разводить крупный рогатый скот для производства говядины от герефордской породы при реализации в возрасте 15 месяцев.

Результаты экономической эффективности производства говядины от специализированных мясных пород скота в возрасте 18 месяцев представлены в таблице 5.

Таблица 4
Экономическая эффективность выращивания бычков до возраста 15 месяцев

Показатель	Группа				
	I	II	III	IV	V
Абсолютный прирост, кг	400,5	450,8	439,7	432,2	413,0
Живая масса при реализации, кг	428,7	489,8	476,5	463,1	446,2
Всего затрат на выращивание, руб.	36 310,9	41 486,1	40 359,6	39 224,6	37 793,1
Себестоимость 1 кг прироста, руб.	93,68	89,21	89328	88,19	94,32
Выручка от реализации, руб.	51 872,7	59 265,8	57 656,5	56 035,1	53 990,2
Прибыль, руб.	15 561,8	17 779,7	17 296,9	16 810,5	16 197,1
Рентабельность, %	47,5	44,2	44,0	44,1	41,6

Table 4
Economic efficiency of rearing bulls up to the age of 15 months

Indicator	Group				
	I	II	III	IV	V
Absolute gain, kg	400.5	450.8	439.7	432.2	413.0
Live weight at sale, kg	428.7	489.8	476.5	463.1	446.2
Total costs for cultivation, rub.	36 310.9	41 486.1	40 359.6	39 224.6	37 793.1
Cost of 1 kg of growth, rub.	93.68	89.21	89328	88.19	94.32
Sales proceeds, rub.	51 872.7	59 265.8	57 656.5	56 035.1	53-990.2
Profit, rub.	15 561.8	17 779.7	17 296.9	16 810.5	16 197.1
Profitability, %	47.5	44.2	44.0	44.1	41.6

Таблица 5
Экономическая эффективность в 18 месяцев

Показатель	Группа				
	I	II	III	IV	V
Абсолютный прирост, кг	488,2	530,4	506	521,2	496,2
Себестоимость 1 кг прироста, руб.	95,89	99,25	101,74	100,45	105,04
Выручка от реализации, руб.	79 525,6	87 687,6	83 591,2	85 023,4	81 527,6
Прибыль, руб.	30 008,0	35 045,4	32 109,2	32 667,4	29 404,6
Рентабельность, %	60,6	66,5	62,4	62,4	56,4

Table 5
Economic efficiency of rearing bulls up to the age of 18 months

Indicator	Group				
	I	II	III	IV	V
Absolute gain, kg	488.2	530.4	506	521.2	496.2
Cost of 1 kg of growth, rub.	95.89	99.25	101.74	100.45	105.04
Sales proceeds, rub.	79 525.6	87 687.6	83 591.2	85 023.4	81 527.6
Profit, rub.	30 008.0	35 045.4	32 109.2	32 667.4	29 404.6
Profitability, %	60.6	66.5	62.4	62.4	56.4

К возрасту 18 месяцев наибольшая прибыль была получена при реализации животных III группы – 350 454,4 рубля, что больше, чем от I группы, на 5037 рублей. Прибыль от животных III–IV групп превысила на 604,0–2659 аналогичный показатель у бычков I группы. Уровень рентабельности производства говядины от всех групп высокий – от 56,4 до 66,6 %. Самый высокий уровень рентабельности при производстве говядины от быков породы шароле составил 66,6 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По мнению ряда ученых, для увеличения производства необходимо рационально использовать и пополнять племенные ресурсы за счет специализированных мясных пород скота мирового уровня [15; 16]. Проведенные исследования по изучению показателей весового роста и мясной продуктивности в зависимости от принадлежности животных к породе скота показали, что породный фактор оказывает значительное влияние на живую массу в разные возрастные периоды и величину среднесуточных приростов. Результаты проведенных исследований частично совпадают с результатами, ранее проведенными исследованиями [17; 18]. В наших исследованиях наиболее высокий уровень рентабельности при убое в 15 месяцев получен от бычков герефордской породы, а в возрасте 18 месяцев возрастает рентабельность производства говядины от скота породы шароле. Необходимо также отметить, что у французских мясных пород с возрастом происходит значительное увеличение живой массы и от них получаем более высокие показатели экономической эффективности. Результаты наших исследований частично подтверждаются В. В. Гудыменко [19].

Поэтому с учетом позднеспелости французских пород их необходимо выращивать более длительный период.

Результаты исследований позволяют сформулировать следующие выводы.

К концу периода выращивания и откорма наибольшую величину живой массы продемонстрировали французские мясные породы. По величине живой массы они превосходят герефордскую породу на 13–53 кг при достоверной разнице. Наиболее высокая энергия роста была продемонстрирована бычками II–V групп (французские породы): 903,8–966,1, это больше по сравнению со сверстниками I группы (герефордская порода) на 14,6–76,9 г.

При убое в возрасте 15 и 18 месяцев получены тяжеловесные туши животных. Туши бычков II–V групп при убое в 15 месяцев имели большую массу на 10,6–23,5 кг. У бычков первой группы убойный выход составил 59,2 %, что превышает показатели сверстников других групп на 1,9–0,3 %. Дополнительный период откорма до 18 месяцев позволил получить увеличение массы туш. Масса парных туш увеличилась до 286,6–318,5 кг. Наибольшая масса туш была у бычков II группы – 318,5 кг, что больше на 31,9 кг (11,1 %) аналогичного показателя у I группы ($p \leq 0,001$).

Экономический анализ результатов исследований свидетельствует, что при производстве говядины от крупного рогатого скота породы шароле уровень рентабельности больше, чем от герефордской породы в возрасте 18 месяцев, на 5,9 %, при этом в возрасте 15 месяцев по данному показателю уровень рентабельности от герефордских бычков больше на 3,3 % по сравнению с породой шароле.

Библиографический список

1. Амерханов Х. А., Мирошников С. А., Костюк Р. В., Дудин И. М., Легошин Г. П. Проект концепции устойчивого развития мясного скотоводства в Российской Федерации на период до 2030 года // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 1 (97). С. 7–12.
2. Боголюбова Л. П., Никитина С. В., Матвеева Е. А., Тяпугин Е. Е. Породный состав в племенном скотоводстве России // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 1. С. 10–12.
3. Солошенко В. А., Магер С. Н., Инербаев Б. О., Дуров А. С., Храмова И. А. Особенности создания отрасли мясного скотоводства на востоке России // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (198). С. 79–87.
4. Kayumov F. G., Tretyakova R. F., Shevlyuk N. N. The influence of climatic factors on the quality of livestock products obtained from different breeds of cattle / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Conference on World Technological Trends in Agribusiness". 2021. Article number 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012030
5. Шевелева О. М., Часовщикова М. А., Суханова С. Ф. Продуктивные и некоторые биологические особенности генофондной породы скота салерс в условиях Западной Сибири // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. № 13 (1). С. 156–173.
6. Солошенко В. А., Магер С. Н., Инербаев Б. О. Основные принципы создания модели эффективной отрасли мясного скотоводства северных территорий РФ // Животноводство и кормопроизводство. 2020. № 3. С. 46–57. DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-46.
7. Кузьмин В. Н., Кузьмина Т. Н. Состояние мясного скотоводства Российской Федерации // Техника и технологии в животноводстве. 2020. № 3 (39). С. 4–10.

8. Криницина Т. П., Логинов С. В. Сравнительная оценка пород крупного рогатого скота по мясной продуктивности // Сборник тезисов по материалам Всероссийской (национальной) конференции Кубанского ГАУ. 2019. С. 157–158.
9. Гудыменко В. В., Востроилов Р. В., Капустин Р. Ф. Элементы технологии структурного анализа реализации генетического потенциала // Иппология и ветеринария. 2020. № 1 (35). С. 34–35.
10. Инербаев Б. О. Резервы увеличения производства говядины // Научное обеспечение животноводства Сибири: материалы IV Международной научно-практической конференции. Новосибирск, 2020. С. 204–207.
11. Логинов С. В., Иваков М. С. Породный состав скота мясного направления продуктивности в Тюменской области // Обеспечение безопасности и качества молока: сборник материалов круглого стола. Тюмень, 2022. С. 34–37.
12. Оценка мясной продуктивности крупного рогатого скота: рекомендации: Изд. 2, доп. и доработанное. Новосибирск: Сиб. отд-ние РАСХН, 2001. 156 с.
13. Gorelik O. V., Gorelik A. S., Galushina P. S., Kosilov V. I., Krovikova A. N. The influence of reproductive functions on productivity of cows of various live weight // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. 2021. Article number 12062. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012062.
14. Литвина Н. В. Состояние и проблемы развития мясного скотоводства России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2019. № 6. С. 28–32.
15. Шичкин Г. И., Лебедев С. В., Костюк Р. В., Шичкин Д. Г. Производство говядины: состояние и перспективы развития // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 8. С. 2–3. DOI: 10.33943/MMS.2021.33.85.001.
16. Дунин С. Я., Тяпугин С. Е., Мещеряков Р. К. [и др.] Состояние мясного скотоводства в Российской Федерации: реалии и перспективы // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 2. С. 2–7. DOI 10.33943/MMS.2020.40.30.001.
17. Sheveleva O. M., Bakharev A. A., Lysenko L. A., Chasovshchikova M. A. Exterior features and meat productivity of aubrac breed cattle during acclimatization in the conditions of Northern Trans-Urals // E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations”. 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202125408004.
18. Sheveleva O. M., Bakharev A. A. Meat productivity of french bred bulls due to adaptive technology in western Siberia // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14. No 4. Pp. 370–383.
19. Gudymenko V. V. Comprehensive assessment of meat content by the yield of nutrients and bioconversion of protein and feed energy into meat products of livestock // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021. № 4 (22). С. 104–107.

Об авторах:

Ольга Михайловна Шевелева, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой технологии производства и переработки продукции животноводства, ORCID 0000-0002-1940-3964-0000, AuthorID 646056; +7 963 068-31-86, Olgasheveleva@mail.ru

Алексей Александрович Бахарев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор института биотехнологий и ветеринарной медицины, ORCID 0000-0002-0604-4157, AuthorID 270467; +7 904 491-72-00, salers@mail.ru

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

References

1. Amerkhanov Kh. A., Miroshnikov S. A., Kostyuk R. V., Dudin I. M., Legoshin G. P. Proekt kontseptsii us-toyчивого razvitiya myasnogo skotovodstva v Rossiyskoy federatsii na period do 2030 goda [Draft concept of sustainable development of beef cattle breeding in the Russian Federation for the period up to 2030] // Herald of Beef Cattle Breeding. 2017. No. 1 (97). Pp. 7–12. (In Russian.)
2. Bogolyubova L. P., Nikitina S. V., Matveeva E. A., Tyapugin E. E. Porodnyy sostav v plemennom skotovodstve Rossii [Breed composition in breeding cattle breeding in Russia] // Journal of dairy and beef cattle breeding. 2021. No. 1. Pp. 10–12. (In Russian.)
3. Soloshenko V. A., Mager S. N., Inerbaev B. O., Durov A. S., Khramtsova I. A. Osobennosti sozdaniya otrasli myasnogo skotovodstva na vostoке Rossii [Peculiarities of creation of the beef cattle breeding industry in the East of Russia] // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021. No. 4 (198). Pp. 79–87. (In Russian.)
4. Kayumov F. G., Tretyakova R. F., Shevlyuk N. N. The influence of climatic factors on the quality of livestock products obtained from different breeds of cattle // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. “International Conference on World Technological Trends in Agribusiness”. 2021. Article number 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012030.

5. Sheveleva O. M., Chasovshchikova M. A., Sukhanova S. F. Produktivnye i nekotorye biologicheskie osobennosti genofondnoy porody skota salers v usloviyakh Zapadnoy Sibiri [Productive and some biological features of the gene pool breed of livestock Salers in Western Siberia] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. No. 13 (1). Pp. 156–173. (In Russian.)
6. Soloshenko V. A., Mager S. N., Inerbaev B. O. Osnovnye printsipy sozdaniya modeli effektivnoy otrasli myasnogo skotovodstva severnykh territoriy RF [Basic principles for creating a model of an effective branch of beef cattle breeding in the northern territories of the Russian Federation] // Animal Husbandry and fodder production. 2020. No. 3. Pp. 46–57. DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-46. (In Russian.)
7. Kuz'min V. N., Kuz'mina T. N. Sostoyanie myasnogo skotovodstva Rossiyskoy Federatsii [The state of beef cattle breeding in the Russian Federation] // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. 2020. No. 3 (39). Pp. 4–10. (In Russian.)
8. Krinitsina T. P., Loginov S. V. Sravnitel'naya otsenka porod krupnogo rogatogo skota po myasnoy produktivnosti [Comparative evaluation of cattle breeds for meat productivity] // Sbornik tezisev po materialam Vserossiyskoy (natsional'noy) konferentsii Kubanskogo GAU. 2019. Pp. 157–158. (In Russian.)
9. Gudymenko V. V., Vostroilov R. V., Kapustin R. F. Elementy tekhnologii strukturnogo analiza realizatsii geneticheskogo potentsiala [Elements of technology for structural analysis of the implementation of genetic potential] // Ippologiya i veterinariya. 2020. No. 1 (35). Pp. 34–35. (In Russian.)
10. Inerbaev B. O. Rezervy uvelicheniya proizvodstva govyadiny [Reserves for increasing the production of beef] // Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Sibiri: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2020. Pp. 204–207. (In Russian.)
11. Loginov S. V., Ivakov M. S. Porodnyy sostav skota myasnogo napravleniya produktivnosti v Tyumenskoj oblasti [Breed composition of beef cattle productivity in the Tyumen region] // Sbornik materialov kruglogo stola "Obespechenie bezopasnosti i kachestva moloka". Tyumen', 2022. Pp. 34–37. (In Russian.)
12. Otsenka myasnoy produktivnosti krupnogo rogatogo skota: rekomendatsii [Assessment of meat productivity of cattle: recommendations]. Sib. otd-nie RASHN. 2nd ed., expanded and modified. Novosibirsk: Siberian branch of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2001. 156 p. (In Russian.)
13. Gorelik O. V., Gorelik A. S., Galushina P. S., Kosilov V. I., Krovikova A. N. The influence of reproductive functions on productivity of cows of various live weight // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. 2021. Article number 12062. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012062.
14. Litvina N. V. Sostoyanie i problemy razvitiya myasnogo skotovodstva Rossii [State and problems of development of beef cattle breeding in Russia] // Economy of agricultural and processing enterprises. 2019. No. 6. Pp. 28–32. (In Russian.)
15. Shichkin G. I., Lebedev S. V., Kostyuk R. V., Shichkin D. G. Proizvodstvo govyadiny: sostoyanie i perspektivy razvitiya [Beef production: state and development prospects] // Dairy and beef cattle farming. 2021. No. 8. Pp. 2–3. DOI: 10.33943/MMS.2021.33.85.001. (In Russian.)
16. Dunin S. Ya., Tyapugin S. E., Meshcheryakov R. K. et al. Sostoyanie myasnogo skotovodstva v Rossiyskoy Federatsii: realii i perspektivy [State of beef cattle breeding in the Russian Federation: realities and prospects] // Journal of dairy and beef cattle breeding. 2020. No. 2. Pp. 2–7. DOI: 10.33943/MMS.2020.40.30.001. (In Russian.)
17. Sheveleva O. M., Bakharev A. A., Lysenko L. A., Chasovshchikova M. A. Exterior features and meat productivity of aubrac breed cattle during acclimatization in the conditions of Northern Trans-Urals // E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations". 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202125408004.
18. Sheveleva O. M., Bakharev A. A. Meat productivity of french bred bulls due to adaptive technology in western Siberia // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14. No 4. Pp. 370–383.
19. Gudymenko V. V. Comprehensive assessment of meat content by the yield of nutrients and bioconversion of protein and feed energy into meat products of livestock // Aktual'nye voprosy sel'skokhozyaystvennoy biologii. 2021. No. 4 (22). Pp. 104–107.

Authors' information:

Olga M. Sheveleva, doctor of agricultural sciences, professor, head of the department of technology of production and processing of livestock products, ORCID 0000-0002-1940-3964-0000, AuthorID 646056; +7 963- 068-31-86, Olgasheveleva@mail.ru

Aleksey A. Bakharev, doctor of agricultural sciences, professor, director of the institute of biotechnology and veterinary medicine, ORCID 0000-0002-0604-4157, AuthorID 270467; +7 904 491-72-00, salers@mail.ru Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

Экономическое обоснование уборки зерновых культур ранних фаз спелости очесом и приготовления корма из необмолоченного вороха

С. В. Брагинец^{1,2}, О. Н. Бахчевников¹✉, Д. В. Рудой²

¹ Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия

² Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

✉ E-mail: oleg-b@list.ru

Аннотация. Уборка зерновых очесом позволяет организовать отдельную уборку зерна на корм в ранние сроки и на продовольственные цели в фазу полной спелости. **Цель.** Экономическое обоснование совокупно технологии уборки очесом без обмолота зерновых культур ранних фаз спелости и технологии приготовления из необмолоченного вороха и добавок гранулированного корма для рыб. **Методы.** Экономическую оценку технологии уборки озимой пшеницы очесом в ранние фазы спелости без обмолота и ее переработки в корм выполняли способом сравнения эксплуатационных и приведенных затрат на выполнение совокупности технологических операций. **Научная новизна** заключается в совместной оценке экономической эффективности технологий уборки и переработки зерновых культур. **Результаты.** Себестоимость уборки зерновых культур очесом без обмолота и разделения вороха в 2,65 раза ниже, чем при использовании технологии уборки очесом с комбайновым обмолотом и разделением вороха. Себестоимости приготовления гранулированного корма для рыб согласно традиционной (из зерна) и новой (из зернового вороха) технологиям почти одинаковы. Но суммарная себестоимость выполнения технологических операций уборки очесом без обмолота и производства гранулированного корма из необмолоченных колосьев, согласно предлагаемой технологии, на 24,3 % меньше, чем при традиционной технологии уборки очесом с обмолотом и приготовления корма из зерна. Включение в состав корма незерновой части колосьев ранней спелости позволит повысить количество получаемого при уборке сырья на 20–30 %. Предлагаемые технологии экономически эффективны для сельскохозяйственных предприятий юга России.

Ключевые слова: пшеница, уборка очесом, колосья, ранние фазы спелости, гранулированный корм, экономическая эффективность, себестоимость корма.

Для цитирования: Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Рудой Д. В. Экономическое обоснование уборки зерновых культур ранних фаз спелости очесом и приготовления корма из необмолоченного вороха // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 128–138. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-128-138.

Дата поступления статьи: 03.07.2023, **дата рецензирования:** 12.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

Economic justification of harvesting cereal crops of early ripeness phases by stripping and preparing feed from unthreshed ears

S. V. Braginetz^{1,2}, O. N. Bakhchevnikov¹✉, D. V. Rudoy²

¹ Agricultural Research Centre “Donskoy”, Zernograd, Russia

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

✉ E-mail: oleg-b@list.ru

Abstract. The stripping of grain allows organizing the separate harvesting of grain for feed in early phases and for food purposes in the phase of full ripeness. **Purpose.** To carry out the economic justification of the technology

of harvesting early ripening grains by stripping without threshing and the technology of preparing pelleted fish feed for fish from unthreshed ears and additives. **Methods.** Economical estimation of the technology of winter wheat harvesting by stripping in early phases of ripeness without threshing and its processing into feed has been carried out by comparing operational and indicated expenses of the total technological operations. **Scientific novelty** lies in the joint estimation of the economic efficiency of technologies of harvesting and processing of grain crops. **Results.** The prime cost of harvesting cereals without threshing and separation is 2.65 times lower than that of the harvesting technology with combine threshing and separation. The cost of performing operations under the traditional (from grain) and the new (from ears) technologies of pelleted fish feed production is almost equal. However, the total cost of technological operations of harvesting grain without threshing and preparation of pelleted feed from unthreshed ears using the new technology is 24.3 % lower than that of traditional technology of harvesting with threshing and preparation of feed from grain. The use of non-grain part of ears of early ripeness in the composition of feed will increase the amount of raw material from hectare of sown area by 20–30 %. The proposed technologies is cost-effective and promising for implementation in the agricultural enterprises of southern Russia.

Keywords: wheat, stripping harvesting, ears, early phases of ripeness, pelleted feed, economic efficiency, feed cost.

For citation: Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Rudoy D. V. Ekonomicheskoe obosnovanie uborki zernovykh kul'tur rannikh faz spelosti ochesom i prigotovleniya korma iz neobmolochennogo vorokha [Economic justification of harvesting cereal crops of early ripeness phases by stripping and preparing feed from unthreshed ears] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 128–138. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-128-138. (In Russian.)

Date of paper submission: 03.07.2023, **date of review:** 12.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Для условий России необходимо решить задачу увеличения питательной ценности кормов для всеядных прудовых рыб (каarp и др.), особенно повышения содержания белка. Решение этой проблемы путем включения в состав кормов белковых добавок значительно повышает их себестоимость [1]. Поэтому возникла необходимость создать технологии, увеличивающие содержание белка в корме для рыб путем максимального использования возможностей местного растительного сырья [2].

Главным видом сырья для кормов в прудовой аквакультуре России является фуражное зерно, особенно зерно пшеницы. Но, собранное в фазе полной спелости, оно включает лишь 10–12 % белка, что недостаточно для удовлетворения потребностей животных [3]. Но это же зерно ранних фаз спелости имеет более высокое содержание белка. В частности, зерно пшеницы восковой спелости включает 12,5 % белка против 11 % в зерне полной спелости [3].

Но зерно предпочитают убирать в фазу полной спелости исходя из его пригодности к комбайновой уборке, низкой влажности и лучшей сохранности при послеуборочной обработке и хранении, теряя при этом ценные питательные вещества. Причиной является тот факт, что, хотя зерно ранних фаз спелости и содержит больше питательных веществ и более пригодно для использования в составе кормов, но техника и технологии, имеющиеся в распоряжении типичного хозяйства, не позволяют убрать и сохранить такое зерно без значительных потерь.

Помимо зерна, еще одним потенциальным источником нутриентов является незерновая часть

колосьев пшеницы, включающая при полной спелости 2 % жира и 5 % протеина, а при ранней спелости – еще больше [4]. Но традиционная технология комбайновой уборки не включает операции сбора и накопления незерновой части колоса для включения в состав корма, что требует разработки новых технологических решений.

Перечисленные выше соображения привели к появлению предложения о раздельной уборке зерновых на продовольственные и кормовые цели и ее предварительному экономическому обоснованию, показавшему перспективность использования такой технологии [5; 6]. Но отсутствие в распоряжении сельхозпредприятий технических средств, позволяющих эффективно реализовать уборку влажного зерна ранней спелости, делало эту возможность умозрительной.

В последние годы все более широко применяется новая технология уборки зерновых колосовых культур очесом, реализуемая посредством использования очесывающих жаток [7]. В результате их действия колосья зерновых культур счесываются со стеблей, т. е. в молотильное устройство комбайна поступает как зерно, так и незерновая часть колоса [8].

Но обмолот колосьев зерновых культур, имеющих в фазе молочной и тестообразной спелости высокую влажность, значительно затруднен. Поэтому зерно ранней спелости целесообразно убирать очесом без обмолота и сепарации вороха.

Возможность этого создает применение технологии, при которой очесанные жаткой колосья собирают в накопителе, перегружают в транспортное средство, а затем доставляют для обмолота и разделения зернового вороха на стационар [9] (рис. 1).



Рис. 1. Уборка озимой пшеницы прицепной очесывающей жаткой с загрузкой необмолоченного зернового вороха в транспортное средство

Источник: фото сотрудника Аграрного научного центра «Донской»

Fig. 1. Harvesting winter wheat with a trailed stripping header with loading of unthreshed ears on a vehicle

Source: Photo of an employee of Agricultural Research Centre "Donskoy"

Эта технология для уборки зерна полной спелости была предложена в работах А. И. Бурьянова [9; 10] и экономически обоснована И. Б. Беренштейном [11; 12]. Ее применение увеличивает производительность на 65,6 %, сокращает расход топлива на 39 %, длительность уборки уменьшается на 65 % [13].

Если исключить из нее операции обмолота и сепарации зерна, то эту технологию можно применить для уборки колосьев ранней спелости. Такая технология уборки позволит получить сырье для кормов с более высоким содержанием белка и жиров, дополнительно увеличив его благодаря использованию незерновой части колоса.

Помимо возможности заготовки корма с повышенным содержанием питательных веществ, технология уборки зерновых очесом в ранние фазы спелости позволяет сократить нагрузку на комбайновый парк хозяйства в период уборки продовольственного и семенного зерна полной спелости, что позволит выполнить ее в более сжатые сроки, сократив тем самым потери от осыпания зерен и снижения их качества при перестое [3; 13]. Кроме того, зерно на ранних стадиях спелости гораздо меньше склонно к осыпанию, чем полностью созревшее, поэтому его уборка на этой стадии еще более снизит потери [6, 14].

Традиционная технология переработки фуражного зерна в корм для всеядных рыб, состоящая в его измельчении, смешивании с добавками и гранулировании, непригодна для переработки необмолоченных колосьев ранней спелости. Препятствует эффективной обработке убранных в ранние сроки

зернового вороха его высокая влажность – 35–80 %. Поэтому необходимо предварительно снизить его влажность до 20–30 %. На юге России в летних условиях зерновой ворох легко может быть высушен до нужной кондиции атмосферной сушкой с возможностью его интенсификации путем использования сушильной установки барабанного типа.

Для обеспечения длительной сохранности в зимний период и удобства хранения полученный корм из неразделенного зернового вороха рационально подвергнуть сухому гранулированию [15], в итоге гранулы корма будут иметь стандартную влажность 12–18 % [16; 17].

Вышеизложенные положения позволили создать технологию приготовления корма из убранных очесом в ранние фазы спелости необмолоченного зернового вороха. Так как совместно эти технологии уборки и приготовления корма ранее не применяли, то целесообразно предварительно оценить их потенциальную экономическую эффективность.

Цель исследования – экономическое обоснование совокупно технологии уборки очесом без обмолота зерновых культур ранних фаз спелости и технологии приготовления из необмолоченного вороха гранулированного корма для рыб.

Методология и методы исследования (Methods)

Совместную оценку экономической эффективности технологий уборки озимой пшеницы ранней спелости очесом без обмолота колосьев и ее переработки в корм для рыб выполняли способом сравнения приведенных затрат на выполнение со-

ставляющих их технологических операций [18]. Экономическую эффективность новых технологий сравнивали с показателями традиционных технологий уборки пшеницы и приготовления из ее зерна корма. Критерием сравнения в настоящем исследовании являлась пооперационная и суммарная себестоимость (приведенные затраты) осуществления технологических операций. Расчет приведенных затрат выполнили по общепринятой методике на базе данных, полученных при уборке пшеницы очесом с обмолотом и без него в Аграрном научном центре «Донской» (Ростовская область). Урожайность пшеницы принята в размере 5 т/га. При оценке технологий уборки учитывали потери зерна в процессе работы жатки и от самоосыпания. Расчет потерь зерна при комбайновой уборке был выполнен по методике А. А. Сухарева и Н. Г. Игнатьевой [19] с использованием данных А. И. Ряднова [20].

При расчете экономической эффективности уборки пшеницы очесом использованы методические приемы и фактические данные И. Б. Беренштейна [21; 22] и А. И. Бурьянова [8–10], а также данные, полученные в Аграрном научном центре «Донской» при уборке очесывающими жатками. Данные о себестоимости операций комбайновой уборки были получены на основе анализа расхода топлива на их выполнение.

Состав очесанного вороха пшеницы составляет (по массе): свободное зерно 60–80 %; зерно в колосьях 10–20 %; мякина 20–30 % [23; 24].

Для вычисления себестоимости исполнения технологических операций приготовления корма использовали собственные числовые данные, полученные в ходе экспериментальных исследований и производственной проверки предложенной технологии.

Особенностью данного исследования является то, что экономическую эффективность технологии уборки зерна и его переработки на корм оценивали совокупно. Сравнивали традиционную комбайно-

вую уборку зерна полной спелости очесом с обмолотом и разделением зернового вороха с последующей очисткой зерна, его дроблением, смешиванием с добавками и гранулированием и уборку очесом в ранние сроки без обмолота и разделения вороха с последующей нормализацией вороха, его сушкой, смешиванием с добавками и гранулированием.

Результаты (Results)

В Аграрном научном центре «Донской» была разработана технология уборки зерновых культур на кормовые цели очесом в ранние сроки. В ходе ее осуществления очес пшеницы на кормовые цели осуществляется прицепной очесывающей жаткой, агрегируемой колесным трактором. Очесанный ворох сразу же выгружается в прицепной бункер-накопитель. Следующей технологической операцией является перегрузка и транспортирование очесанного вороха на стационарный пункт обработки транспортными средствами с кузовами большой емкости.

Необмолоченный зерновой ворох пшеницы перерабатывали в корм для прудовых рыб (карп) по новой технологии, включающей нижеследующие операции:

1. Нормализация (экспандирование) вороха для увеличения однородности.
2. Сушка экспандата до достижения им влажности 14–18 %.
3. Измельчение высушенного экспандата на молотковой дробилке.
4. Смешивание измельченного экспандата с добавками (3–5 %) в смесителе.
5. Гранулирование, охлаждение и сепарация гранул.

На основе данных производственной проверки уборки пшеницы очесом была вычислена сравнительная себестоимость выполнения операций согласно традиционной и новой технологиям (таблица 1, рис. 2).

Таблица 1
Себестоимость выполнения технологических операций уборки пшеницы очесом, руб/т

Технология уборки очесом с обмолотом и сепарацией зерна (в расчете на 1 т зерна)		Технология уборки очесом без обмолота (в расчете на 1 т зернового вороха)	
Наименование операции	Себестоимость выполнения	Наименование операции	Себестоимость выполнения
Очес колосьев	105	Очес колосьев	105
Обмолот колосьев	320	–	–
Сепарация зерна	65	–	–
Выгрузка зерна в транспортное средство	10	Загрузка вороха в накопитель	12
Транспортировка зерна на ток	81	Транспортировка вороха на стационар	102
Итого	581	Итого	219

Источник: данные авторов.

Table 1
Unit cost of technological operations of wheat harvesting by stripping, rubles per tonne

Harvesting technology by stripping with threshing and separation of grain (based on 1 ton of grain)		Harvesting technology by stripping without threshing (based on 1 tonne of ears)	
Name of operation	Cost of performing	Name of operation	Cost of performing
Stripping of ears	105	Stripping of ears	105
Threshing of ears	320	–	–
Separation	65	–	–
Grain unloading into vehicle	10	Loading the ears into the storage unit	12
Grain transportation to the threshing floor	81	Transporting the ears to the stationary	102
Total	581	Total	219

Source: authors' information.

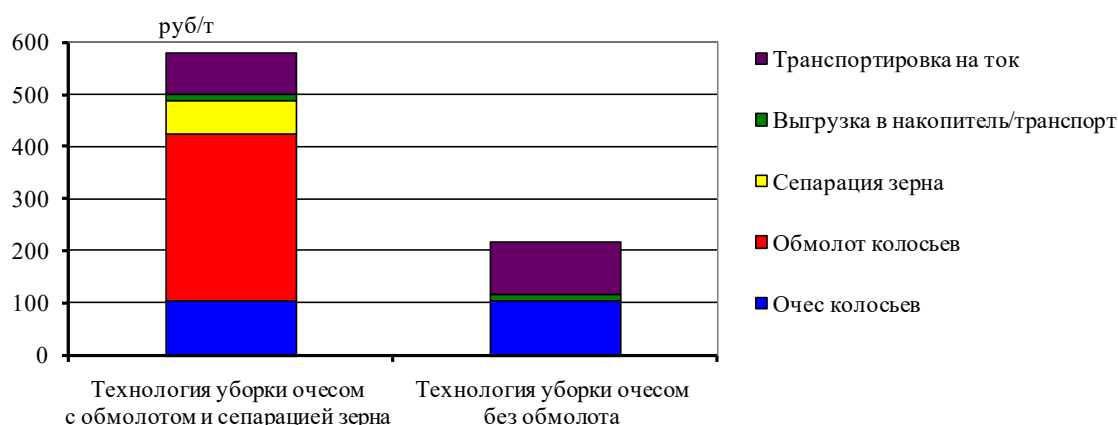


Рис. 2. Структура себестоимости выполнения технологических операций уборки зерновых очесом с обмолотом вороха и без него
Источник: данные авторов

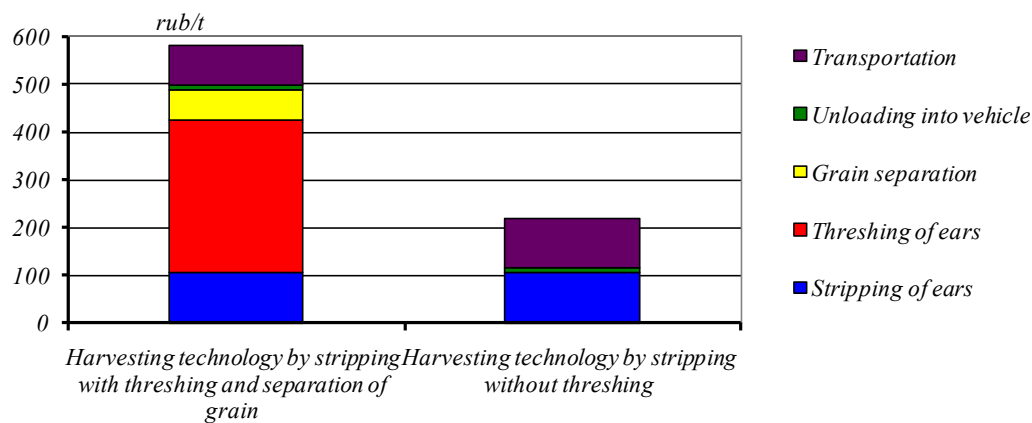


Fig. 2. Cost structure of technological operations of harvesting cereals by stripping with and without threshing
Source: authors' information

Как показали результаты экономической оценки, себестоимость комбайновой уборки зерновых культур очесом без обмолота и разделения вороха в 2,65 раза ниже, чем при использовании технологии уборки очесом с комбайновым обмолотом и разделением вороха. Это объясняется тем, что на данные операции приходится 65 % себестоимости выполнения всей технологии комбайновой уборки. Экономический эффект от исключения из технологической схемы операций обмолота и сепарации вороха с лихвой

перекрывает негативный эффект от увеличения себестоимости транспортировки урожая на ток (стационар) вследствие превышения массы и объема необмолоченного вороха над чистым зерном.

Благодаря такому экономическому эффекту создается значительный задел для снижения себестоимости производимого из необмолоченного зернового вороха корма для рыб при одновременном увеличении его питательной ценности за счет уборки в более ранние сроки.

На основе данных, полученных в ходе производственной проверки, была вычислена себестоимость выполнения операций для традиционной (из зерна)

и новой (из необмолоченных колосьев) технологий производства гранулированного корма для рыб (таблица 2, рис. 3).

Таблица 2
Себестоимость выполнения технологических операций производства гранулированного корма (в расчете на 1 т корма), руб/т

Технология производства корма из зерна		Технология производства корма из необмолоченных колосьев	
Наименование операции	Себестоимость выполнения	Наименование операции	Себестоимость выполнения
Очистка зерна	116	Нормализация зернового вороха (экспандирование)	133
–	–	Сушка	75
Измельчение зерна	235	Измельчение экспандата	157
Смешивание с добавками	188	Смешивание с добавками	188
Гранулирование	234	Гранулирование	234
Охлаждение гранул	64	Охлаждение гранул	64
Сепарация гранул	11	Сепарация гранул	11
Всего	848	Всего	862

Источник: данные авторов.

Table 2
Cost of technological operations for the preparation of pelleted feed (based on 1 tonne of feed), rubles per tonne

Feed preparation technology from grain		Feed preparation technology from unthreshed ears	
Name operation	Cost of performing	Name operation	Cost of performing
Grain cleaning	116	Ears normalisation	133
–	–	Ears drying	75
Grain milling	235	Ears milling	157
Mixing of cereals and additives	188	Mixing of ears and additives	188
Pelleting	234	Pelleting	234
Pellets cooling	64	Pellets cooling	64
Pellets separation	11	Pellets separation	11
Total	848	Total	862

Source: authors' information.

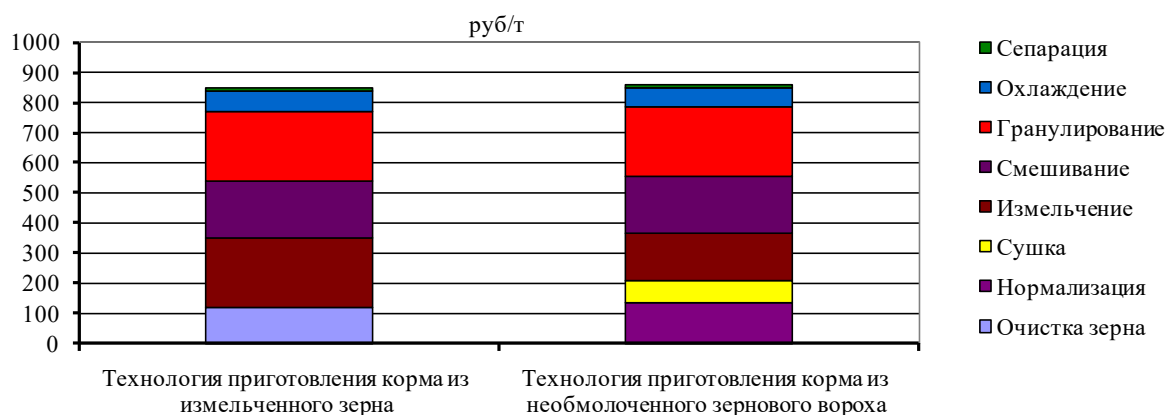


Рис. 3. Структура себестоимости выполнения технологических операций приготовления гранулированного корма на основе зерна и необмолоченного зернового вороха
Источник: данные авторов

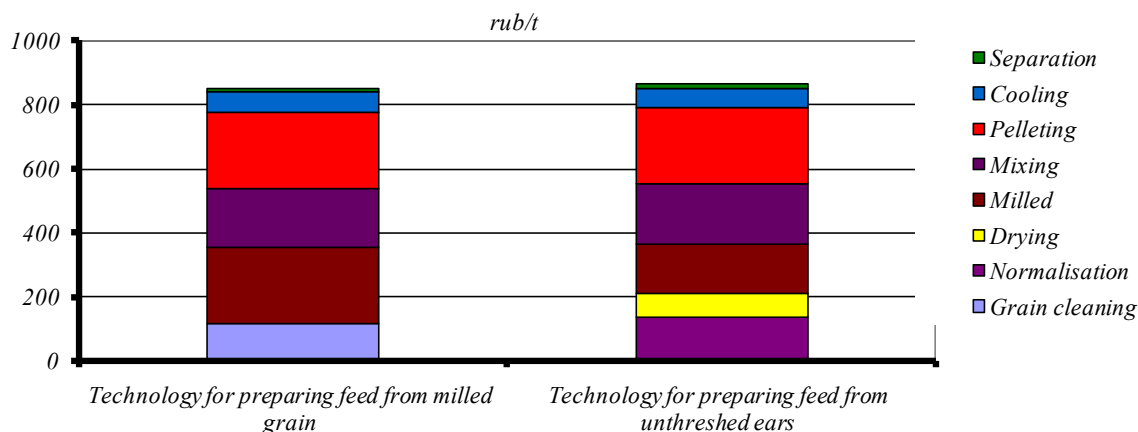


Fig. 3. Cost structure of technological operations grain pellets and unthreshed ears
Source: authors' information

Таблица 3
Совокупная себестоимость выполнения технологических операций уборки очесом и приготовления гранулированного корма, руб/т

Наименование технологии	Себестоимость выполнения	Наименование технологии	Себестоимость выполнения
Уборка очесом с обмолотом и сепарацией зерна	581	Уборка очесом без обмолота	219
Приготовление корма из измольченного зерна	848	Приготовления корма из необмолоченного зернового вороха	862
Итого	1429	Итого	1081

Источник: данные авторов.

Table 3
Total cost of technological operations for harvesting by stripping and pelleted feed preparation, rubles per ton

Name operation	Cost of performing	Name operation	Cost of performing
Harvesting with stripping and threshing with grain separation	581	Harvesting with stripping without threshing	219
Feed preparation from milled grain	848	Feed preparation from unthreshed ears	862
Total	1429	Total	1081

Source: authors' information.

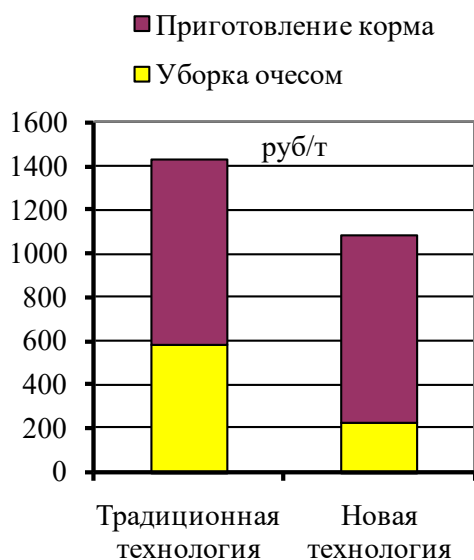


Рис. 4. Сравнение совокупной себестоимости выполнения технологических операций уборки очесом и приготовления гранулированного корма
Источник: данные авторов

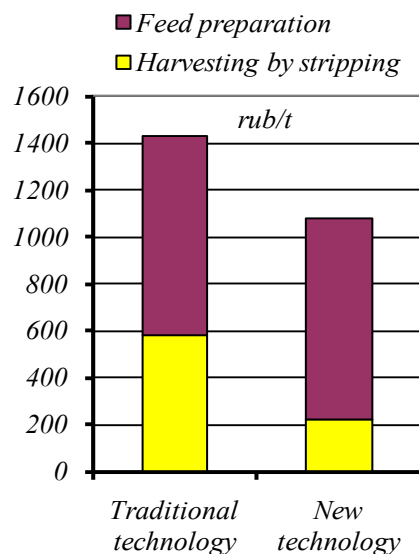


Fig. 4. Comparison of the total cost of technological operations of harvesting with stripping and making pelleted feed from wheat ears
Source: authors' information

Полученные результаты показывают, что суммарные себестоимости исполнения операций согласно традиционной и новой технологиям приготовления гранулированного корма для рыб почти равны. Себестоимость производства корма из необмолоченных колосьев только на 1,6 % больше. Это является хорошим результатом, потому что новая технология по сравнению с традиционной более сложная и требует исполнения большего количества технологических операций, таких как нормализация (экспандирование) и сушка. Но измельчение менее прочного по сравнению со спелым зерном экспандата из необмолоченного вороха ранних фаз спелости требует меньшей продолжительности этой операции и, соответственно, меньших затрат электроэнергии, что снижает себестоимость этой технологической операции на 33 % и в итоге приводит к примерному равенству стоимости приготовления гранулированного корма для рыб по традиционной и новой технологиям.

Совокупная себестоимость выполнения операций для традиционной и новой технологий уборки очесом и приготовления гранулированного корма для прудовых рыб приведены в таблице 3 и на рис. 4.

Таким образом, совокупная себестоимость выполнения технологических операций уборки очесом и приготовления гранулированного корма для рыб по новой технологии, включающей уборку зерновых в ранние сроки очесом без обмолота и приготовления корма из необмолоченного вороха, на 24,3 % ниже, чем при традиционной технологии уборки очесом с обмолотом и приготовления корма из зерна с добавками. Благодаря меньшей себестоимости уборки пшеницы без обмолота и сепарации зерна совокупная себестоимость приготовления корма для рыб по новой технологии будет меньше, чем для традиционной. Как видим, небольшое превышение себестоимости для технологии приготовления корма из необмолоченного вороха над традиционной перекрывается значительным снижением себестоимости уборки очесом за счет отказа от обмолота и сепарации зернового вороха.

Но достоинства предлагаемой технологии уборки зерновых культур в ранние сроки и приготовления из них гранулированного корма не исчерпываются лишь снижением себестоимости выполнения технологических операций.

Уборка зерновых, в частности пшеницы, очесом в ранние сроки, когда зерно более прочно связано с колосом, приводит к довольно значительному снижению потерь зерна от осыпания. На основе данных И. Б. Беренштейна [11] и А. И. Бурьянова [20] эти возможные потери оценены нами в 0,3 т/га (при урожайности 5 т/га), т. е. в 6 % от урожая. Именно на столько увеличится количество сырья для кормов получаемого с уборочной площади.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Результаты исследований показали высокую экономическую эффективность предлагаемой технологии уборки зерновых в ранние сроки очесом без обмолота и приготовления корма для прудовых рыб из необмолоченного вороха.

Уборка части посевных площадей, занимаемых зерновыми культурами, на кормовые цели в более ранние сроки позволяет снизить нагрузку на зерноуборочные комбайны в самый напряженный период при уборке продовольственного и семенного зерна полной спелости, что позволяет сократить ее сроки и снизить потери зерна от его перестоя.

Отказ от обмолота колосьев и сепарации вороха приводит к увеличению количества кормового сырья, получаемого с 1 га посевной площади. Исходя из известного факта, что содержание незерновой части в необмолоченном ворохе составляет 20–30 % по массе, итоговое количество приготовленного сельхозпредприятием корма также может быть на 20–30 % больше, чем при производстве корма из обмолоченного зерна полной спелости. Помимо этого, полученный корм имеет большую питательную ценность, так как содержит больше белка.

Но предлагаемая технология имеет естественные ограничения, сдерживающие ее применение. Во-первых, это сжатые сроки, в которые возможно убирать зерновые на ранних фазах спелости, причем они могут быть еще более сокращены из-за неблагоприятных погодных условий. А во-вторых, это ограниченные сроки для приготовления гранулированного корма из полученного сырья. Дело в том, что необмолоченный ворох ранних фаз спелости имеет меньший срок хранения, чем зерно полной спелости, а значит, и переработан он должен быть в сжатые сроки.

Тем не менее с учетом имеющихся достоинств, предлагаемая технология уборки очесом и приготовления корма для рыб из зерновых культур ранних фаз спелости является весьма перспективной для внедрения в сельхозпредприятиях.

Результаты исследования позволяют сделать вывод, что внедрение предлагаемой технологии уборки очесом и производства из необмолоченного вороха гранулированного корма позволит полностью реализовать потенциал сверххранной и ранней уборки зерновых культур методом очеса, снизив потери зерна в ходе уборки и от осыпания, и повысив питательную ценность сырья для приготовления кормов.

Себестоимость уборки зерновых культур очесом без обмолота и разделения вороха в 2,65 раза ниже, чем при использовании технологии уборки очесом с комбайновым обмолотом и разделением вороха. Себестоимости исполнения операций при традиционной (из зерна) и новой (из колосьев) технологиях приготовления гранулированного корма для рыб почти равны.

Но суммарная себестоимость выполнения операций уборки очесом без обмолота и производства гранулированного корма из необмолоченных колосьев по новой технологии на 24,3 % ниже, чем при традиционной технологии уборки очесом с обмолотом и приготовления корма из зерна. Включение

в состав корма незерновой части колосьев ранней спелости позволит повысить количество получаемого при уборке сырья на 20–30 %.

Предлагаемая технология уборки зерновых и приготовления из них корма для прудовых рыб экономически эффективна для сельскохозяйственных предприятий юга России.

Библиографический список

1. Kim S. W., Less J. F., Wang L., Yan T., Kiron V., Kaushik S. J., Lei X. G. Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy // *Annual Review of Animal Biosciences*. 2019. Vol. 7. Pp. 221–243. DOI: 10.1146/annurev-animal-030117-014838.
2. Revesz N., Biro J. Recent trends in fish feed ingredients – mini review. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 2019. Vol. 23. No. 1. Pp. 32–47. DOI: 10.31914/aak.2286.
3. Alt D. S., Paul P. A., Lindsey A. J., Lindsey L. E. Early wheat harvest influenced grain quality and profit but not yield // *Crop, Forage & Turfgrass Management*. 2019. Vol. 5. No. 1. DOI: 10.2134/cftm2019.01.0001.
4. Брусенцов А. С., Туманова М. И., Чулаков Я. Б. К вопросу повышения эффективности уборки незерновой части урожая для приготовления грубых кормов // *Тракторы и сельхозмашины*. 2019. № 5. С. 55–60. DOI: 10.31992/0321-4443-2019-5-55-60.
5. Чемоданов С. И., Патрин П. А., Патрин В. А., Сабашкин В. А. Результаты очеса высоковлажной растительной массы пшеницы // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019. Vol. 49. No. 6. С. 96–103. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-6-11.
6. Astanakulov K. Wheat ripening dynamics in Uzbekistan for harvesting it in earlier periods // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 264. Article number 04074. DOI: 10.1051/e3sconf/202126404074.
7. Даманский Р. В., Чекусов М. С., Кем А. А., Михальцов Е. М., Шмидт А. Н. Оценка технологии уборки зерновых культур методом очеса на корню // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2023. № 1. С. 145–151. DOI: 10.48136/2222-0364_2023_1_145.
8. Buryanov A., Chervyakov I. Using combines for cleaning grain crops by non-traditional technologies // *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 58. No. 3. С. 27–32. DOI: 10.35633/INMATEH-59-03.
9. Бурьянов А. И., Зайцев С. Г., Червяков И. В. Способ и средства уборки зерновых культур очесом с разделением вороха на стационаре // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2018. № 140. DOI: 10.21515/1990-4665-140-001.
10. Alabushev A. V., Buryanov A. I., Pakhomov V. I., Kolinko A. A., Chervyakov I. V. Development of a method to control threshing process based on properties of harvested crop variety and external factors // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. T. 422. Article number 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012005.
11. Беренштейн И. Б., Шабанов Н. П. Новые возможности технологии «Невейка» при уборке зерновых культур // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2018. № 16. С. 52–66.
12. Беренштейн И. Б., Гончар И. В. Технично-экономическая эффективность двухфазной уборки зерновых (колосовых) культур с послеуборочной утилизацией соломы // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2017. № 11. С. 51–60.
13. Бершицкий Ю. И., Кастиди Ю. К. Эффективность уборки зерновых методом очеса // *Сельский механизатор*. 2022. № 1. С. 8–9.
14. Buryanov A. I., Chervyakov I. V., Kolin'ko A. A. Strength Testing of Stripping Cylinder's Tooth // *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 65. No. 3. Pp. 67–72. DOI: 10.35633/INMATEH-65-07.
15. Dujmovic M., Safran B., Jug M., Radmanovic K., Antonovic A. Biomass Pelletizing Process: A Review // *Drvna Industrija*. 2022. Vol. 73. No. 1. Pp. 99–106. DOI: 10.5552/drvind.2022.2139.
16. Schroeder B., Andretta I., Kipper M., Franceschi C. H., Remus A. Empirical modelling the quality of pelleted feed for broilers and pigs // *Animal Feed Science and Technology*. 2020. Vol. 265. Article number 114522. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114522.
17. Blagov D. A., Gizatov A. Y., Smakuyev D. R., Kosilov V. I., Pogodaev V. A., Tamaev S. A. Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 613. Article number 012018. DOI: 10.1088/1755-1315/613/1/012018.
18. Лысюк А. И., Водяников В. Т. Совершенствование методики оценки эффективности сельскохозяйственной техники // *Вестник МГАУ им. Горькиной*. 2018. № 4. С. 53–58. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-4-53-58.

19. Сухарев А. А., Игнатъева Н. Г., Янковский Н. Г. Влияние сроков и способов уборки на урожайность озимой мягкой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2014. № 4. С. 52–58.
20. Ряднов А. И., Федорова О. А., Поддубный О. И. Потери зерна от увеличения сроков уборки зерновых культур // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2020. № 2. С. 375–384. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-37.
21. Беренштейн И. Б., Воложанинов С. С., Высоцкая Н. Д. Технология трехфазной комбайновой уборки пшеницы и ячменя с послеуборочной обработкой зерна и соломы // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2018. № 15. С. 83–96.
22. Полуэктова Н. Р., Беренштейн И. Б. Оценка экономической эффективности технологий уборки пшеницы на основании методов граничного анализа // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2018. № 15. С. 177–188.
23. Иванисов М. М., Марченко Д. М., Некрасов Е. И. Оценка сортов озимой мягкой пшеницы в межстанционном испытании по хозяйственно-ценным признакам // *Зерновое хозяйство России*. 2022. № 1. С. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-11-16
24. Иванисов М. М., Марченко Д. М., Кравченко Н. С., Копусь М. М. Изучение показателей качества современных сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» // *Зерновое хозяйство России*. 2023. № 1. С. 35–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-35-41

Об авторах:

Сергей Валерьевич Брагинец^{1,2}, доктор технических наук, доцент, ORCID 0000-0001-7137-5692, AuthorID 687835; sbraginet@mail.ru

Олег Николаевич Бахчевников¹, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-3362-5627, AuthorID 640052; +7 908 179-53-21, oleg-b@list.ru

Дмитрий Владимирович Рудой², кандидат технических наук, доцент, ORCID 0000-0002-1916-8570, AuthorID 625281; spu-38@donstu.ru

¹ Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия

² Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

References

1. Kim S. W., Less J. F., Wang L., Yan T., Kiron V., Kaushik S. J., Lei X. G. Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy // *Annual Review of Animal Biosciences*. 2019. Vol. 7. Pp. 221–243. DOI: 10.1146/annurev-animal-030117-014838.
2. Revesz N., Biro J. Recent trends in fish feed ingredients – mini review. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 2019. Vol. 23. No. 1. Pp. 32–47. DOI: 10.31914/aak.2286.
3. Alt D. S., Paul P. A., Lindsey A. J., Lindsey L. E. Early wheat harvest influenced grain quality and profit but not yield // *Crop, Forage & Turfgrass Management*. 2019. Vol. 5. No. 1. DOI: 10.2134/cftm2019.01.0001.
4. Brusentsov A. S., Tumanova M. I., Chulakov Ya. B. K voprosu povysheniya effektivnosti uborki nezernovoy chasti urozhaya dlya prigotovleniya grubyykh kormov [The increase of the efficiency of harvesting the non-cereal part of the crop for the preparation of roughage] // *Tractors and Agricultural Machinery*. 2019. No. 5. Pp. 55–60. DOI: 10.31992/0321-4443-2019-5-55-60. (In Russian.)
5. Chemodanov S. I., Patrin P. A., Patrin V. A., Sabashkin V. A. Rezul'taty ochesa vysokovlazhnoy rastitel'noy massy pshenitsy [The results of stripping high-moisture wheat plant mass] // *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2011. Vol. 49. No. 6. Pp. 96–103. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-6-11. (In Russian.)
6. Astanakulov K. Wheat ripening dynamics in Uzbekistan for harvesting it in earlier periods // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 264. Article number 04074. DOI: 10.1051/e3sconf/202126404074.
7. Damanskiy R. V., Chekusov M. S., Kem A. A., Mikhail'tsov E. M., Shmidt A. N. Otsenka tekhnologii uborki zernovykh kul'tur metodom ochesa na kornyu [Evaluation of the technology of harvesting grain crops by the method of combing the standing crops] // *Vestnik of Omsk SAU*. 2023. No. 1. Pp. 145–151. DOI: 10.48136/2222-0364_2023_1_145. (In Russian.)
8. Buryanov A., Chervyakov I. Using combines for cleaning grain crops by non-traditional technologies // *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 58. No. 3. С. 27–32. DOI: 10.35633/INMATEH-59-03.
9. Bur'yanov A. I., Zaytsev S. G., Chervyakov I. V. Sposob i sredstva uborki zernovykh kul'tur ochesom s razdeleniem vorokha na stacionare [Method and means for harvesting grain crops by stripping with the division of the heap in the stationary] // *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2018. No. 140. DOI: 10.21515/1990-4665-140-001. (In Russian.)
10. Alabushev A. V., Buryanov A. I., Pakhomov V. I., Kolinko A. A., Chervyakov I. V. Development of a method to control threshing process based on properties of harvested crop variety and external factors // *IOP*

Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. T. 422. Article number 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012005.

11. Berenshteyn I. B., Shabanov N. P. Novye vozmozhnosti tekhnologii “Nevejka” pri uborke zernovykh kul'tur [New abilities of technology “neveika” while harvesting of crops] // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2018. No. 16. Pp. 52–66. (In Russian.)

12. Berenshteyn I. B., Gonchar I. V. Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' dvukhfaznoy uborki zernovykh (kolosovykh) kul'tur s posleuborochnoj utilizatsiey solomy [Technical and economic efficiency of two-phase harvesting of grain (cereal) crops post-harvest utilization of straw] // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2017. No. 11. Pp. 51–60. (In Russian.)

13. Bershtitskiy Yu. I., Kastidi Yu. K. Effektivnost' uborki zernovykh metodom ochesa [The efficiency of grain harvesting by the ochesa method] // Sel'skiy mekhanizator. 2022. No. 1. Pp. 8–9. (In Russian.)

14. Buryanov A. I., Chervyakov I. V., Kolin'ko A. A. Strength Testing of Stripping Cylinder's Tooth // INMATEH – Agricultural Engineering. 2021. Vol. 65. No. 3. Pp. 67–72. DOI: 10.35633/INMATEH-65-07.

15. Dujmovic M., Safran B., Jug M., Radmanovic K., Antonovic A. Biomass Pelletizing Process: A Review // Drvna Industrija. 2022. Vol. 73. No. 1. Pp. 99–106. DOI: 10.5552/drvind.2022.2139.

16. Schroeder B., Andretta I., Kipper M., Franceschi C. H., Remus A. Empirical modelling the quality of pelleted feed for broilers and pigs // Animal Feed Science and Technology. 2020. Vol. 265. Article number 114522. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114522.

17. Blagov D. A., Gizatov A. Y., Smakuyev D. R., Kosilov V. I., Pogodaev V. A., Tamaev S. A. Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 613. Article number 012018. DOI: 10.1088/1755-1315/613/1/012018.

18. Lysyuk A. I., Vodyannikov V. T. Sovershenstvovanie metodiki otsenki effektivnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Improving the methodology for evaluating the efficiency of agricultural machinery] // Agroengineering. 2018. No. 4. Pp. 53–58. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-4-53-58. (In Russian.)

19. Sukharev A. A., Ignat'yeva N. G., Yankovskiy N. G. Vliyanie srokov i sposobov uborki na urozhaynost' ozimoy myagkoy pshenitsy [Influence of terms and ways of harvesting upon mild winter wheat productivity] // Grain Economy of Russia. 2014. No. 4. Pp. 52–58. (In Russian.)

20. Ryadnov A. I., Fedorova O. A., Poddubnyy O. I. Poteri zerna ot uvelicheniya srokov uborki zernovykh kul'tur [Grain losses from increase terms of harvesting grain crops] // Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex. 2020. No. 2. Pp. 375–384. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-37. (In Russian.)

21. Berenshteyn I. B., Volozhaninov S. S., Vysotskaya N. D. Tekhnologiya trekhfaznoy kombaynovoy uborki pshenitsy i yachmenya s posleuborochnoy obrabotkoj zerna i solomy [Technology of three-phase combine wheat and barley assembly with post-turning grain and straw processing] // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2018. No. 15. Pp. 83–96. (In Russian.)

22. Poluektova N. R., Berenshteyn I. B. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti tekhnologiy uborki pshenitsy na osnovanii metodov granichnogo analiza [Estimation of economic efficiency of cleaning technology wheats based on frontier analysis] // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2018. No. 15. Pp. 177–188. (In Russian.)

23. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Nekrasov E. I. Otsenka sortov ozimoy myagkoy pshenitsy v mezhshtatsionnom ispytanii po khozyaystvenno-tsennym priznakam [Estimation of winter bread wheat varieties in the inter-station testing according to economically valuable traits] // Grain Economy of Russia. 2022. No. 1. Pp. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-11-16. (In Russian.)

24. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Kravchenko N. S., Kopus' M. M. Izuchenie pokazateley kachestva sovremennykh sortov ozimoy pshenitsy selektsii FGBNU “ANTs “Donskoy” [Study of the quality indicators of modern winter wheat varieties developed by the FSBSI ARC “Donskoy”] // Grain Economy of Russia. 2023. No. 1. Pp. 35–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-35-41. (In Russian.)

Authors' information:

Sergey V. Braginets^{1, 2}, doctor of engineering sciences, associate professor, ORCID 0000-0001-7137-5692, AuthorID 687835; sbraginets@mail.ru

Oleg N. Bakhchevnikov¹, candidate of engineering sciences, senior researcher, ORCID 0000-0002-3362-5627, AuthorID 640052; +7 908 179-53-21, oleg-b@list.ru

Dmitriy V. Rudoy², candidate of engineering sciences, associate professor, ORCID 0000-0002-1916-8570, AuthorID 625281; spu-38@donstu.ru

¹ Agricultural Research Centre “Donskoy”, Zernograd, Russia

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Значимые факторы развития рынка сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов в новых реалиях

Н. Ю. Зубарев¹, А. А. Урасова^{2✉}, Л. В. Глезман², С. С. Федосеева², Ю. Н. Зубарев³

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

² Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермский филиал, Пермь, Россия

³ Пермский государственный аграрнотехнологический университет имени академика

Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

✉ E-mail: urasova.aa@uiec.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию развития рынка беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА) в сельском хозяйстве регионов Российской Федерации в новых реалиях. **Цель** – провести анализ развития рынка сельскохозяйственных БПЛА в Российской Федерации и определить ближайшие перспективы его развития в условиях новой реальности. **Задачи:** изучить факторы внешней и внутренней среды, оказывающие влияние на развитие рынка сельскохозяйственных БПЛА; определить стадии развития рынка сельскохозяйственных БПЛА в РФ; выявить ключевые характеристики рынка сельскохозяйственных БПЛА для определения перспектив дальнейшего развития рынка БПЛА в РФ. **Методы:** систематизация, интеграция и аналитическая обработка данных, метод экспертных оценок, факторный анализ. **Научная новизна.** На основании обобщения теоретических положений и развития методического инструментария предложен авторский подход к оценке состояния рынка сельскохозяйственных БПЛА в РФ и определению перспектив его развития. **Результаты.** На основе анализа факторов внешней и внутренней среды произведена диагностика стадии развития российского рынка (отрасли) в разрезе ключевых критериев периодизации, определены стадии развития рынка сельскохозяйственных БПЛА в Российской Федерации. Выявленная асимметрия в стадийности развития рынка определяет большинство характеристик рынка, отличающих его от мирового и представляющего яркий пример олигополии. На фоне изменений условий внешней среды сделан вывод о том, что рынок сельскохозяйственных БПЛА в ближайшей перспективе в своем развитии будет стремиться к преодолению стадийного дисбаланса и приобретения более сбалансированных пропорций.

Ключевые слова: рынок, беспилотные летательные аппараты, сельское хозяйство, развитие, технология, цифровые технологии, точное земледелие, регион, внешние и внутренние факторы, PEST-анализ.

Для цитирования: Зубарев Н. Ю., Урасова А. А., Глезман Л. В., Федосеева С. С., Зубарев Ю. Н. Значимые факторы развития рынка сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов в новых реалиях // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 139–150. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-139-150.

Дата поступления статьи: 06.07.2023, **дата рецензирования:** 25.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

Significant factors in the development of the agricultural unmanned aerial vehicles market in new realities

N. Yu. Zubarev¹, A. A. Urasova^{2✉}, L. V. Glezman², S. S. Fedoseeva², Yu. N. Zubarev³

¹ Perm State University, Perm, Russia

² Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm branch, Perm, Russia

³ Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

✉ E-mail: urasova.aa@uiec.ru

Abstract. The article studies the development of the unmanned aerial vehicle (UAV) market in agriculture in the regions of the Russian Federation in the new realities. **The purpose** is to analyse the development of the agricultural unmanned aerial vehicle market in the Russian Federation and to identify the immediate prospects for its development in the new reality. **Objectives:** to study the external and internal environmental factors influencing the development of the agricultural UAV market; to identify the stages of development of the agricultural UAV market in the Russian Federation; to identify the key characteristics of the agricultural UAV market in order to determine the prospects for further development of the agricultural UAV market in the Russian Federation. **Methods:** systematisation, integration and analytical processing of data, method of expert evaluation, factor analysis. **Scientific novelty.** On the basis of the generalization of theoretical provisions and the development of methodological tools, the author proposed an approach to assessing the state of the agricultural UAV market in the Russian Federation and identifying the prospects for its development. **Results.** Based on the analysis of external and internal environment factors, a diagnosis of the stage of development of the Russian market (industry) in the context of the key criteria of periodization was made, the stages of development of the agricultural UAV market in the Russian Federation were determined. The identified asymmetry in the stage of market development determines most of the market characteristics that distinguish it from the global market and represent a vivid example of oligopoly. Against the background of changes in the external environment, it is concluded that the agricultural unmanned aerial vehicle market in the near future in its development will strive to overcome the stage imbalance and acquire more balanced proportions.

Keywords: market, unmanned aerial vehicles, agriculture, development, technologisation, digital technology, precision farming, region, external and internal factors, PEST analysis.

For citation: Zubarev N. Yu., Urasova A. A., Glezman L. V., Fedoseeva S. S., Zubarev N. Yu. Znachimye faktory razvitiya rynka sel'skokhozyaystvennykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov v novykh realiakh [Significant factors in the development of the agricultural unmanned aerial vehicles market in new realities] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 01. Pp. 139–150. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-139-150. (In Russian.)

Date of paper submission: 06.07.2023, **date of review:** 25.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

По оценкам различных аналитических компаний, рынок беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА) для сельского хозяйства в ближайшие годы ждет рост:

- Markets and Markets – 35 % рост до 2024 года;
- PricewaterhouseCoopers – рынок будет насчитывать 32,4 млрд долларов;
- Goldman Sachs – сегмент сельского хозяйства на рынке дронов станет самым крупным в следующие 5 лет;
- Минсельхоз России – цифровизация позволит сельскохозяйственным предприятиям уже к 2024 году в 2 раза увеличить производительность. Ожидается, что мировая экономическая эффективность дронов в фермерском хозяйстве и аграрном секторе к 2025 году составит порядка 82 млрд долларов;
- Global Market Insights – к 2024 году рынок агробеспилотников составит более 1 млрд долларов;
- Международная ассоциация беспилотных систем – 90 % дронов в мире будут работать только на две отрасли: сельское хозяйство и безопасность, причем агросектор будет закупать в 10 раз больше дронов и станет самой большой сферой их применения.

Подобные прогнозы основываются на популярности использования беспилотников в области сельского хозяйства. БПЛА, оборудованный датчиками и видеокамерой, может быть крайне полезен

для аграрных компаний и фермеров: устройство способно быстро собирать аналитические данные о почве, посевах и оборудовании, сопоставлять состояние полей, отслеживать вредителей, сеять удобрения и многое другое. Также при помощи БПЛА можно наблюдать за угодьями в режиме реального времени. Используя беспилотники, фермеры и аграрии экономят время, повышают урожайность и находят самые эффективные решения по обработке полей.

Продолжающаяся цифровая трансформация и технологизация социально-экономических и общественных процессов свидетельствует о том, что дальнейшее развитие технологий на основе БПЛА в различных отраслях экономики – объективная неизбежность. Соответственно, рынок БПЛА в сельском хозяйстве должен ожидать рост. Однако мнения ученых-исследователей на этот счет несколько разнятся.

Обзор научной литературы показал, что вектор современных исследований направлен на изучение перспектив развития сельского хозяйства, которые открывают возможности внедрения инновационных технологий и реализации процессов цифровизации для субъектов хозяйственной деятельности в отраслях сельского хозяйства. Ученые отмечают необходимость стремления к «умному» сельскому хозяйству [1, с. 11] с помощью разработки и внедрения цифровых технологий, например точно-

го земледелия. Так, в коллективной монографии О. А. Кривошина, А. Б. Тлисов и И. А. Митрофанова раскрывают теоретико-методические аспекты, предпосылки и ключевые особенности развития инновационной деятельности в агропромышленном комплексе [2, с. 8]. И. В. Ивойлова отмечает, что применение цифровых технологий и инновационных решений в отечественном агропромышленном комплексе позволит повысить производство высококачественной сельскохозяйственной продукции [3, с. 61].

Популярным трендом в цифровом сельском хозяйстве является применение прорывных информационных технологий, таких как обмен и управление данными на основе интернета вещей, различные компьютерные программы и приложения, облачные платформы [5, с. 42]. Одной из наиболее перспективных технологий повышения эффективности сельскохозяйственного производства является применение БПЛА для мониторинга сельхозугодий [6, с. 178], которая трансформирует традиционные методы ведения сельского хозяйства в новую эру точного земледелия [7].

В то же время анализ текущего уровня технологий и показателей цифровой трансформации сельского хозяйства РФ, проведенный в работе В. Д. Добровлянина и Е. А. Антинескул, выявил несовершенство законодательного регулирования процессов цифровизации сельскохозяйственной отрасли, что существенно снижает темпы реализации цифровых трансформаций, и увеличивает уровень дифференциации цифрового развития регионов, на основе чего авторами определены перспективы дальнейшего развития сельскохозяйственной отрасли [4, с. 12–14].

Широкие перспективы применения БПЛА в сельском хозяйстве обуславливают пристальное внимание ученых к изучению российского и зарубежного рынка БПЛА, которые в своих исследованиях рассматривают широкий спектр вопросов: проводят анализ [8, с. 435] и прогнозируют развитие рынка БПЛА, рассматривают крупных производителей БПЛА российского и мирового масштаба [9, с. 67–70], оценивают объем российского рынка и отраслевую структуру экономики, в которой используются БПЛА, раскрывают условия необходимые для устойчивого развития российского рынка [10, с. 2522]. А. В. Шевченко и А. Н. Мигачева проводят обзор мирового рынка БПЛА сельскохозяйственного назначения и обосновывают актуальность внедрения таких инновационных технологий в сельское хозяйство [11, с. 191]. При этом отдельные исследователи отмечают, что развитие рынка БПЛА в России невозможно без соответствующего нормативно-правового регулирования процесса разработки и использования цифровых технологий БПЛА в сельском хозяйстве [12, с. 58; 13, с. 63].

В современных научных исследованиях изучение возможностей применения БПЛА в сельском хозяйстве как одного из направлений точного земледелия приобретает особую актуальность [14, с. 47]: ученые рассматривают разнообразие видов БПЛА [15, с. 82], возможности их применения для оценки сельскохозяйственных угодий [16, с. 76; 17, с. 40], отличительные конструктивные особенности [18, с. 39], а также перспективы использования БПЛА для обследования состояния земель сельхозназначения [19, с. 20; 20, с. 167]. Внедрение БПЛА как инновационной технологии современного сельского хозяйства является нарастающей тенденцией в точном земледелии [21, с. 41].

В научных публикациях представлен обзор различных технологий обработки сельскохозяйственных культур с помощью БПЛА, можно выделить инновационный дифференциальный метод применения БПЛА по внесению удобрений и других химикатов [22, с. 9; 23, с. 40], средств защиты растений, оказывающих влияние на вегетацию и урожайность сельскохозяйственных растений [24, с. 151]. Также ученые предлагают использовать БПЛА на труднодоступных земельных участках для дистанционного исследования полей на мелиорированных землях, построения картограмм землепользования, точечного применения химических средств защиты растений и др. [25, с. 23].

Зарубежные авторы исследуют текущее состояние и перспективные тенденции применения БПЛА для обнаружения сорняков на полях сельскохозяйственного назначения [26; 27], а также отмечают, что применение БПЛА может служить инструментом сохранения биоразнообразия в сельском хозяйстве: например, с их помощью возможно оценить биомассу, следить за здоровьем растений, обнаружить заражение вредителями или патогенами, контролировать плодородие почвы и выявлять участки с сорняками, что позволит повысить точность земледелия и снизить потребление агрохимикатов [28].

В своем исследовании Н. Ю. Курченко и З. Х. Нагучев проводят анализ применения БПЛА для оценки ущерба в сельском хозяйстве, вызванного природными факторами, и предлагают разработку методик и программных продуктов для решения данной проблемы [29, с. 63]. В. В. Митрашук и М. П. Баранов предлагают математическую модель процесса полета БПЛА универсальной конструкции, позволяющую прогнозировать характер движения и определить режим управления в зависимости от эксплуатационных условий, а также выполняемых функций и задач сельского хозяйства [30, с. 333].

В целом можно отметить довольно широкий спектр тематик научных исследований возможностей БПЛА в сельском хозяйстве, однако, подавляющее большинство из них носит практический

характер, тогда как теоретическое и методологическое обоснование применения технологий БПЛА в сельском хозяйстве существенно отстает.

Методология и методы исследования (Methods)

Информационную основу исследования составили размещенные в сети Интернет и других доступных источниках результаты исследований российских и зарубежных ученых в области цифровизации агропромышленного комплекса и внедрений инновационных технологий в сельском хозяйстве, в частности работы, посвященные обзору и анализу возможностей и перспектив применения БПЛА в сельскохозяйственной деятельности. Методологическая основа исследования представлена факторным анализом, позволяющим на основе систематизации и оценки факторного воздействия выявить и провести анализ причинно-следственных связей стадийности развития рынка сельскохозяйственных БПЛА в России.

Результаты (Results)

Исходя из общего анализа рыночных условий представляется целесообразным провести PEST-анализ, который позволит систематизировать ключевые факторы с позиции сфер общественной жизни (политические, экономические, социальные, технологические и пр.)

На основе экспертных оценок определим, как сильно может воздействовать каждый фактор, по трехбалльной шкале: 1 – почти никак не повлияет; 2 – на бизнесе скажется только сильное потрясение; 3 – любое самое маленькое изменение сильно отразится на организации. Оценим вероятность того, что фактор изменится. Факторы оцениваются по системе от 1 до 5, где: 1 – ситуация не изменится; 2 – возможны изменения; 3 – ситуация изменится, но незначительно; 4 – все ощутимо изменится; 5 – ситуация очень сильно поменяется.

Рассчитаем реальную значимость каждого отдельного фактора (таблица 1) по формуле:

Влияние фактора / итоговая сумма влияний * вероятность изменения.

Среди значимых внешних факторов можно выделить:

- политические факторы: ограничение импорта и экспорта, политические санкции, а также активная поддержка отечественных компаний-производителей;

Таблица 1
Результаты анализа внешних факторов с использованием PEST-анализа

Описание фактора	Влияние фактора	Вероятность изменения фактора	Оценка фактора
Политические факторы			
Политические санкции	2,0	5,0	0,20
Ограничение импорта и экспорта	3,0	4,0	0,24
Законы, ограничивающие деятельность компании	3,0	3,0	0,18
Увеличение налогообложения	3,0	2,0	0,12
Активная поддержка отечественных компаний-производителей	2,0	5,0	0,20
Свобода информации о рынке и упоминание в СМИ	1,0	2,0	0,04
Экономические факторы			
Изменение курса валют	3,0	5,0	0,31
Инфляция и безработица	1,0	1,0	0,02
Снижение денежных доходов и платежеспособности заказчиков	3,0	2,0	0,12
Изменение спроса	3,0	3,0	0,18
Наличие финансовой поддержки	2,0	4,0	0,16
Социальные факторы			
Среднедушевые доходы населения	2,0	3,0	0,12
Покупка отечественных товаров взамен импортных	2,0	5,0	0,20
Уровень качества продукции	3,0	5,0	0,31
Рост контроля над удаленными объектами	2,0	4,0	0,16
Недостаточное развитие подготовки кадров	1,0	3,0	0,06
Технологические факторы			
Развитие информационных технологий	3,0	4,0	0,24
Появление на рынке нового высокотехнологичного оборудования	3,0	4,0	0,24
Развитие интернет-технологий	2,0	5,0	0,20
Внедрение инновационных технологий	2,0	5,0	0,20
Рост спроса на использование продукции	3,0	5,0	0,31
ИТОГО	49,0		

Источник: разработано и составлено авторами.

Table 1

Results of external factor analysis using PEST analysis

Description of the factor	Influence of the factor	Probability of changing the factor	Factor assessment
Political factors			
Political sanctions	2.0	5.0	0.20
Limiting imports and exports	3.0	4.0	0.24
Laws restricting company activities	3.0	3.0	0.18
Increase in taxation	3.0	2.0	0.12
Active support for domestic manufacturing companies	2.0	5.0	0.20
Freedom of information about the market and media coverage	1.0	2.0	0.04
Economic factors			
Change in exchange rates	3.0	5.0	0.31
Inflation and unemployment	1.0	1.0	0.02
Reduced cash income and the solvency of customers	3.0	2.0	0.12
Change in demand	3.0	3.0	0.18
Availability of financial support	2.0	4.0	0.16
Social factors			
Average per capita income of the population	2.0	3.0	0.12
Purchase of domestic goods to replace imported goods	2.0	5.0	0.20
Level of product quality	3.0	5.0	0.31
Increased control of remote sites	2.0	4.0	0.16
Insufficient training development	1.0	3.0	0.06
Technological factors			
Development of information technology	3.0	4.0	0.24
New high-tech equipment on the market	3.0	4.0	0.24
Development of internet technology	2.0	5.0	0.20
Introducing innovative technologies	2.0	5.0	0.20
Increased demand for the use of products	3.0	5.0	0.31
TOTAL	49.0		

Source: designed and compiled by the authors.

– экономические факторы: изменение курса валют и изменение спроса;

– социальные факторы: уровень качества продукции и покупка отечественных товаров взамен импортных;

– технологические факторы: появление на рынке новых материалов и технологий, а также растущий спрос на использование БПЛА (рис. 1).

На основании выявленных факторов сформируем матрицу PEST-анализа, в которую включим наиболее значимые факторы (таблица 2).

Исходя из анализа факторов внешней среды определим стадии развития рынка сельскохозяйственных БПЛА в РФ по критериям периодизации:

- 1) по отношению к внешней среде;
- 2) в зависимости от модели поведения на рынке;
- 3) в зависимости от спроса и предложения;
- 4) от уровня конкуренции;
- 5) в зависимости от выбора оптимальной стратегии (рис. 2).

В соответствии с наиболее содержательными критериями диагностики стадии развития рынка сельскохозяйственных БПЛА, получены выводы:

– первая стадия развития рынка в контексте отношения с внешней средой: стадия формирующейся среды, «молодой» рынок;

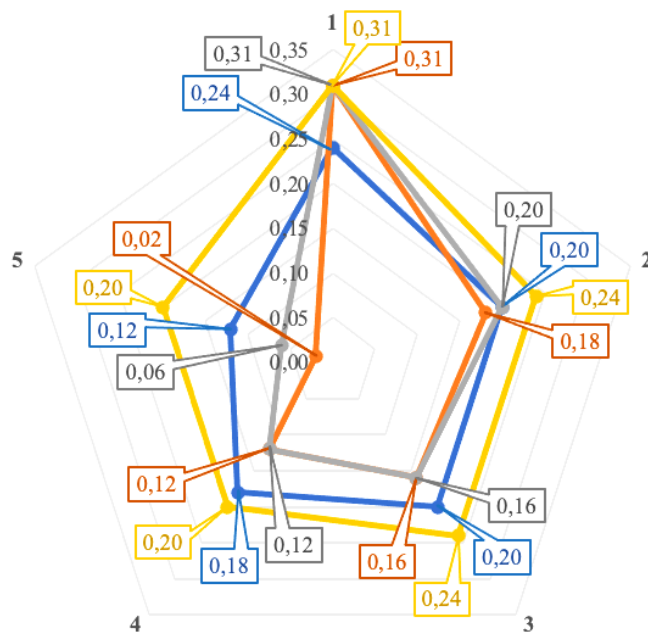
– вторая стадия развития рынка в соответствии с существующими моделями поведения на рынке: стадия роста, изменения, усложнения структур, формирующихся «правил игры»;

– четвертая стадия развития рынка в соответствии со сложившимся соотношением спроса и предложения: стадия превышения предложения над спросом;

– вторая стадия развития рынка в соответствии со сложившимися условиями конкуренции: на рынке представлен спектр конкурентов, цели и приоритеты, которых не сформированы;

– первая стадия развития рынка в соответствии с существующими стратегическими установками игроков: большинство игроков находятся на этапе поиска целей, формирования предложения.

В условиях формирующихся моделей поведения игроков на рынке, определения их стратегий развития, на фоне изменений условий внешней среды рынок будет стремиться к преодолению стадийного дисбаланса и приобретению более сбалансированных пропорций.



- Политические факторы**
 1. Ограничение импорта и экспорта
 2. Политические санкции
 3. Активная поддержка отечественных компаний-производителей
 4. Законы, ограничивающие деятельность компании
 5. Увеличение налогообложения
- Экономические факторы**
 1. Изменение курса валют
 2. Изменение спроса
 3. Наличие финансовой поддержки
 4. Снижение денежных доходов и платежеспособности заказчиков
 5. Инфляция и безработица
- Социальные факторы**
 1. Уровень качества продукции
 2. Покупка отечественных товаров взамен импортных
 3. Рост контроля над удаленными объектами
 4. Среднедушевые доходы населения
 5. Недостаточное развитие подготовки кадров
- Технологические факторы**
 1. Рост спроса на использование продукции
 2. Развитие информационных технологий
 3. Появление на рынке нового высокотехнологичного оборудования
 4. Развитие интернет-технологий
 5. Внедрение инновационных технологий

- Political factors**
 1. Limiting imports and exports
 2. Political sanctions
 3. Active support for domestic manufacturing companies
 4. Laws restricting company activities
 5. Increase in taxation
- Economic factors**
 1. Changes in exchange rates
 2. Change in demand
 3. Availability of financial support
 4. Reduced cash income and the solvency of customers
 5. Inflation and unemployment
- Social factors**
 1. Level of product quality
 2. Purchase of domestic goods to replace imported goods
 3. Increased control of remote sites
 4. Average per capita income of the population
 5. Insufficient training development
- Technological factors**
 1. Increased demand for the use of products
 2. Development of information technology
 3. New high-tech equipment on the market
 4. Development of internet technology
 5. Introducing innovative technologies

Рис. 1. Оценка факторов развития рынка сельскохозяйственных БПЛА
 Источник: составлено авторами

Fig. 1. Assessment of market development factors for agricultural UAVs
 Source: compiled by the authors.

Асимметрия в стадильности развития рынка определяет ключевые характеристики рынка:

- несовершенная конкуренция с низкой конкуренцией среди покупателей и более активной конкуренцией между продавцами;
- ограниченное количество потребителей;
- чувствительность продавцов к политике ценообразования друг друга;
- чувствительность продавцов к стратегиям и стратегическим приоритетам друг друга.

Общемировые тенденции свидетельствуют, что доля рынка БПЛА гражданского назначения составляет порядка 47 % мирового рынка, из них коммерческие БПЛА – 24 %, потребительские – 23 %. Эксперты говорят о стабильном росте на рынке доли коммерческих БПЛА. По прогнозам ожидается дальнейший рост доли потребительских БПЛА. При этом объем сельскохозяйственного рынка с использованием БПЛА составляет порядка 10 % от потенциальной потребности.

Матрица PEST-анализа развития рынка сельскохозяйственных БПЛА

Наиболее значимые факторы внешней среды	Действия по регулированию
Политические факторы	
Ограничение импорта и экспорта	Поиск посредников в странах-партнерах и российских производителей
Политические санкции	Поиск качественных производителей в странах-партнерах и в России
Экономические факторы	
Изменение курса валют	Использование инструментов страхования рисков (хеджирование)
Изменение спроса	Развитие новых направлений, развитие партнерств с производителями сопутствующей продукции
Социальные факторы	
Уровень качества продукции	Организация постоянных встреч с поставщиками материалов
Покупка отечественных товаров взамен импортных	Использование преимуществ в качестве для построения сильного бренда компании; поиск новых путей улучшения сервиса
Технологические факторы	
Рост спроса на использование продукции	Участие в выставках и конференциях
Развитие информационных технологий	Поддержание высоких инвестиций в НИОКР
Новое высокотехнологичное оборудование	Постоянный мониторинг технологических новинок

Источник: разработано и составлено авторами.

Table 2
PEST analysis matrix for agricultural UAV market development

<i>The most significant environmental factors</i>	<i>Actions to regulate</i>
Political factors	
<i>Limiting imports and exports</i>	<i>Search for intermediaries in partner countries and Russian producers</i>
<i>Political sanctions</i>	<i>Search for quality producers in partner countries and Russia</i>
Economic factors	
<i>Change in exchange rates</i>	<i>Use of risk insurance instruments (hedging)</i>
<i>Change in demand</i>	<i>Development of new areas, developing partnerships with related product manufacturers</i>
Social factors	
<i>Level of product quality</i>	<i>Organizing regular meetings with material suppliers</i>
<i>Purchase of domestic goods to replace imported goods</i>	<i>Leveraging quality advantages to build a strong company brand; finding new ways to improve service</i>
Technological factors	
<i>Increased demand for the use of products</i>	<i>Participation in exhibitions and conferences</i>
<i>Development of information technology</i>	<i>Maintaining high investment in research and development</i>
<i>New high-tech equipment</i>	<i>Constant monitoring of technological innovations</i>

Source: designed and compiled by the authors.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Очевидный факт, что рынок БПЛА имеет высокий темп роста и не наблюдается никаких предпосылок, что в ближайшей перспективе наблюдаемый темп роста замедлится. Очевидно также, что российское производство БПЛА будет расти в ближайшие годы – сегодня на рынке представлен ряд конкурентных компаний, которые занимаются разработкой новых моделей, модернизацией существующих и разработкой насадок для уже известных, в том числе в рамках программ технопарка

«Сколково», получая гранты на создание опытных образцов.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы в части развития рынка сельскохозяйственных БПЛА:

1) рынок сельскохозяйственных БПЛА в России находится на начальной стадии развития и формирования пула ключевых игроков, при этом их стратегические позиции на рынке и общие правила игры на настоящем этапе в полной мере не сформулированы и не определены;



Рис. 2. Стадии развития рынка сельскохозяйственных БПЛА в соответствии с основными критериями периодизации

Источник: составлено авторами

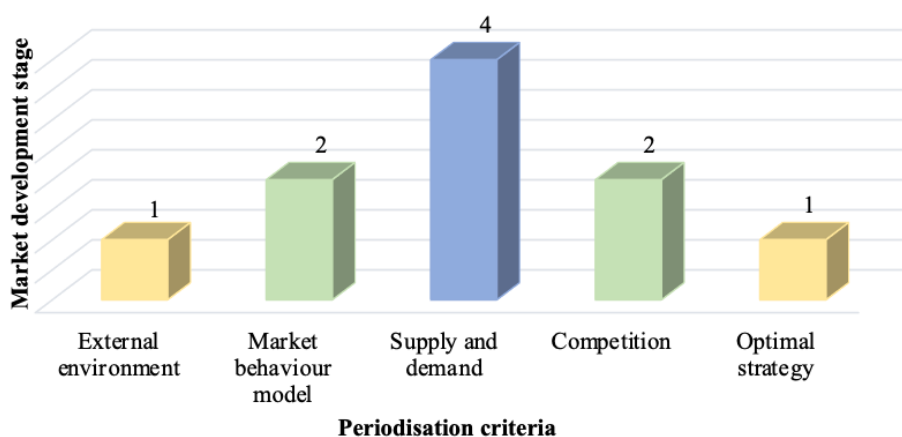


Fig. 2. Stages of development of the agricultural UAV market according to the main criteria of the periodization

Source: compiled by the authors

2) пандемия Covid-19 и введенные в связи с ней ограничения в хозяйственной деятельности и общественной жизни страны повлекли спад всей мировой экономики, в том числе и сельского хозяйства РФ, что негативным образом сказалось на развитии рынка БПЛА;

3) санкционное давление ряда недружественных стран обусловило множество ограничений вплоть до полного прекращения поставок оборудования и комплектующих и ухода компаний с российского рынка БПЛА (например, DJI Technology).

Самая большая проблема, сдерживающая развитие рынка сельскохозяйственных БПЛА, связана с несовершенством правового регулирования использования БПЛА в РФ. Ее решение позволит устранить множество других барьеров как для пользователей, так и для производителей, после чего рынок БПЛА сделает шаг вперед, поскольку

технология развита достаточно хорошо, чтобы тиражироваться [31].

В качестве рекомендации по результатам проведенного исследования отметим, что для ускорения развития рынка БПЛА и услуг на основе их применения целесообразным представляется разработка и внедрение специальной цифровой платформы – витрины услуг и сервисов компаний, организаций и индивидуальных предпринимателей в сфере использования БПЛА в сельском хозяйстве, что позволило бы компаниям презентовать себя и свои услуги в сети потребителям, в лице сельхозтоваропроизводителей, последним оперативно находить необходимый сервис или услугу, а заинтересованным лицам и компаниями идентифицировать каждый хозяйствующий субъект рынка.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследование выполнено в соответствии с Планом НИР Института экономики УрО РАН.

Библиографический список

1. Якушев В. П. Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета «Умное сельское хозяйство» России // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 2. С. 11–15. DOI: 10.30850/vrsn/2019/2/11-15.

2. Кривошина О. А., Глисов А. Б., Митрофанова И. А. Организационные основы инноваций в инфраструктуре АПК. Москва, Берлин: ООО «Директмедиа Паблишинг», 2017. 132 с.
3. Ивойлова И. В. Инновации в сельском хозяйстве: цифровизация // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 2 (84). С. 58–62. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-284-58-62.
4. Добровлянин В. Д., Антинеескул Е. А. Цифровизация сельского хозяйства: текущий уровень цифровизации в Российской Федерации и перспективы дальнейшего развития // Цифровые модели и решения. 2022. Т. 1. № 2. DOI: 10.29141/2782-4934-2022-1-2-5.
5. Булгаков А. Л., Коптилина Д. М., Пасека Д. С. Экономические аспекты IT-технологии в сельском хозяйстве на примере «беспилотников» // АПК: Экономика, управление. 2019. № 4. С. 41–48. DOI: 10.33305/194-41.
6. Шайтура С. В., Князева М. Д., Белю Л. П., Барбасов В. К., Феоктистова В. М. Цифровая трансформация сельского хозяйства на основе беспилотных летательных аппаратов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 7. С. 174–182.
7. Boursianis A. D., Papadopoulou M. S., Diamantoulakis P., Liopa-Tsakalidi A., Barouchas P., Salahas G., Karagiannidis G., Wan S., Goudos S. K. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review // Internet of Things. 2022. Vol. 18. Article number 100187. DOI: 10.1016/j.iot.2020.100187.
8. Романова Н. В. Характеристика рынка беспилотных летательных аппаратов: запрос и сферы применения // Самоуправление. 2020. № 4 (121). С. 434–437.
9. Костин А. С., Богатов Н. В. Вопросы современного развития рынка беспилотных летательных аппаратов // Системный анализ и логистика. 2019. № 4 (22). С. 65–72.
10. Фаттахов М. Р., Киреев А. В., Клещ В. С. Рынок беспилотных авиационных систем в России: состояние и особенности функционирования в макроэкономических условиях 2022 года // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 4. С. 2507–2528. DOI: 10.18334/vines.12.4.116912.
11. Шевченко А. В., Мигачев А. Н. Обзор состояния мирового рынка беспилотных летательных аппаратов и их применения в сельском хозяйстве // Робототехника и техническая кибернетика. 2019. Т. 7. № 3. С. 183–195. DOI: 10.31776/RTSJ.7303.
12. Хомяков Д. М. Правовые аспекты использования новых цифровых технологий с беспилотными летательными аппаратами в сельском хозяйстве // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2019. № 9. С. 57–63.
13. Эйриян Г. Н. Беспилотники: взгляд с позиций земельного законодательства // Lex russica. 2020. Т. 73. № 10. С. 63–72. DOI: 10.17803/1729-5920.2020.167.10.063-072.
14. Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С., Чащин А. Н., Заболотнова М. В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019. № 2. С. 47–51. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5.
15. Хабарина Д. С., Тишанинов И. А. Анализ применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного типа в сельском хозяйстве // Наука без границ. 2021. № 4 (56). С. 78–83.
16. Башилов А. М., Королев В. А. Автономные беспилотные летательные аппараты в точных системах агропроизводства // Вестник аграрной науки Дона. 2018. № 3 (43). С. 76–82.
17. Куликова Е. Г., Манапова Д. И. Изучение возможностей использования беспилотного летательного аппарата в сельском хозяйстве // Сурский вестник. 2022. № 3 (19). С. 34–42. DOI: 10.36461/2619-1202_2022_03_006.
18. Салаев Б. К., Серегин А. А., Эвиев В. А., Мучаев А. Б., Глечикова Н. А., Юдаев И. В. Анализ применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник аграрной науки Дона. 2022. Т. 15. № 4 (60). С. 29–44. DOI: 10.55618/20756704_2022_15_4_29-44.
19. Садов А. А., Гладков А. В., Байвердиев А. А., Шорохов П. Н. Возможность использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве для проведения анализов полей // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2019. № 3 (3). С. 19–24.
20. Васильченко А. В. Инновации и цифровизация в защите растений // Плодоводство и виноградарство юга России. 2020. № 61 (1). С. 161–172. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-1-61-161-172.
21. Курченко Н. Ю. Технология применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2018. Т. 3. № 3. С. 37–42. DOI: 10.22406/bjst-18-3.3-37-42.
22. Кудрявцев Д. В., Магдин А. Г., Припадчев А. Д., Горбунов А. А. Применение сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для обработки сельскохозяйственных культур // Интеллектуальные системы в производстве. 2021. Т. 19. № 3. С. 4–11. DOI: 10.22213/2410-9304-2021-3-4-11.
23. Марченко Л. А., Аргюшин А. А., Смирнов И. Г., Мочкова Т. В., Спиридонов А. Ю., Курбанов Р. К. Технология внесения пестицидов и удобрений беспилотным летательным аппаратами в цифровом сельском

хозяйстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13. № 5. С. 38–45. DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-5-38-45.

24. Труфляк Е. В., Назаренко Л. В., Даду М. М. Ю., Кулак А. А., Труфляк И. С. Использование беспилотной технологии внесения удобрений, гербицидной, инсектицидной и фунгицидной обработок при возделывании озимого ячменя // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 185. С. 139–156. DOI: 10.21515/1990-4665-185-010.

25. Шевченко В. А., Максименко В. П., Губин В. К., Матвеев А. В. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в мелиорации // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 2. С. 23–26.

26. Mohidem N. A., Che'Ya N. N., Juraimi A. S., Fazlil Ilahi W. F., Mohd Roslim M. H., Sulaiman N., Saberioon M., Mohd Noor N. How Can Unmanned Aerial Vehicles Be Used for Detecting Weeds in Agricultural Fields? // Agriculture. 2021. № 11 (10). Article number 1004. DOI: 10.3390/agriculture11101004.

27. Nagothu S. K., Anitha G., Siranthini B., Anandi V., Prasad P. S. Weed detection in agriculture crop using unmanned aerial vehicle and machine learning // Materialstoday: proceedings. 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.03.350.

28. Librán-Embid F., Klaus F., Tsharntke T., Grass I. Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes – A systematic review // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 732. Article number 139204. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139204.

29. Курченко Н. Ю., Нагучев З. Х. Использование беспилотных летательных аппаратов в оценке ущерба сельскому хозяйству // Научные горизонты. 2021. № 9 (49). С. 60–63.

30. Митрашук В. В., Баранова М. П. Конструкция беспилотного летательного аппарата для применения в сельском хозяйстве // АПК России. 2020. Т. 27. № 2. С. 333–338.

31. БПЛА: Дайджест по робототехнике [Электронный ресурс]. URL: <https://robotics.innopolis.university/wp-content/uploads/2021/02/Digest-Robotics2.pdf> (дата обращения: 16.05.2023).

Об авторах:

Николай Юрьевич Зубарев¹, кандидат экономических наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, ORCID 0000-0002-9021-4058, AuthorID 670224; +7 965 556-47-44, nu_zubarev@mail.ru

Анна Александровна Урасова², доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, директор, ORCID 0000-0002-0598-5051, AuthorID 773894; +7 952 316-84-71, urasova.aa@uiec.ru

Людмила Васильевна Глезман², кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0001-9812-3356, AuthorID 298047, +7 982 465-45-50, glezman.lv@uiec.ru

Светлана Сергеевна Федосеева³, младший научный сотрудник, ORCID 0000-0003-3721-315X, AuthorID 518612; +7 951 956-77-73, fedoseeva.ss@uiec.ru

Юрий Николаевич Зубарев³, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агроботехнологий, главный научный сотрудник сектора организации и сопровождения НИР Управления научной и инновационной деятельности, ORCID 0000-0002-6049-3244, AuthorID 522714; +7 952 644-59-52, yn-zubarev@mail.ru

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

² Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермский филиал, Пермь, Россия

³ Пермский государственный аграрнотехнологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

References

1. Yakushev V. P. Tsifrovye tekhnologii tochnogo zemledeliya v realizatsii prioriteta “Umnoe sel’skoe khozyaystvo” Rossii [Digital technologies of precision farming in implementation of smart farming priority of Russian] // Vestnik of the Russian agricultural science. 2019. No. 2. Pp. 11–15. DOI: 10.30850/vrsn/2019/2/11-15. (In Russian.)

2. Krioshina O. A., TlisoV A. B., Mitrofanova I. A. Organizatsionnye osnovy innovatsiy v infrastrukture APK [Organisational framework for innovation in agribusiness infrastructure]. Moscow, Berlin: ООО “Direktmedia Publishing”, 2017. 132 p. (In Russian.)

3. Ivoylova I. V. Innovatsii v sel’skom khozyaystve: tsifrovizatsiya [Innovations in agriculture: digitalization] // Economy and business: theory and practice. 2022. No. 2 (84). Pp. 58–62. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-284-58-62. (In Russian.)

4. Dobrovlyanin V. D., Antineskul E. A. Tsifrovizatsiya sel’skogo khozyaystva: tekushchiy uroven’ tsifrovizatsii v Rossiyskoy Federatsii i perspektivy dal’neyshego razvitiya [Digitalization is developing: the level of digitalization in Russia and the prospects for sustainable development] // Digital models and solutions. 2022. Vol. 1. No. 2. DOI: 10.29141/2782-4934-2022-1-2-5. (In Russian.)

5. Bulgakov A. L., Koptilina D. M., Paseka D. S. Ekonomicheskie aspekty IT-tehnologii v sel'skom khozyaystve na primere "bespilotnikov" [Economic aspects of IT technology in agriculture on the example of UAVS] // AIC: economy, management. 2019. No. 4. Pp. 41–48. DOI: 10.33305/194-41. (In Russian.)
6. Shaytura S. V., Knyazeva M. D., Belyu L. P., Barbasov V. K., Feoktistova V. M. Tsifrovaya transformatsiya sel'skogo khozyaystva na osnove bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Digital transformation of agriculture based on unmanned aircraft] // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2021. No. 7. Pp. 174–182. (In Russian.)
7. Boursianis A. D., Papadopoulou M. S., Diamantoulakis P., Liopa-Tsakalidi A., Barouchas P., Salahas G., Karagiannidis G., Wan S., Goudos S. K. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review // Internet of Things. 2022. Vol. 18. Article number 100187. DOI: 10.1016/j.iot.2020.100187.
8. Romanova N. V. Kharakteristika rynka bespilotnykh letatel'nykh apparatov: zapros i sfery primeneniya [Characteristics of the unmanned aerial vehicle market: request and application areas] // Samoupravlenie. 2020. No. 4 (121). Pp. 434–437. (In Russian.)
9. Kostin A. S., Bogatov N. V. Voprosy sovremennogo razvitiya rynka bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Questions of modern development of the drons aircraft market] // Sistemy analiz i logistika. 2019. No. 4 (22). Pp. 65–72. (In Russian.)
10. Fattakhov M. R., Kireev A. V., Kleshch V. S. Rynok bespilotnykh aviatsionnykh sistem v Rossii: sostoyanie i osobennosti funktsionirovaniya v makroekonomicheskikh usloviyakh 2022 goda [The market of unmanned aircraft systems in Russia: status and characteristics of functioning in the macroeconomic environment of 2022] // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. 2022. Vol. 12. No. 4. Pp. 2507–2528. DOI: 10.18334/vinec.12.4.116912. (In Russian.)
11. Shevchenko A. V., Migachev A. N. Obzor sostoyaniya mirovogo rynka bespilotnykh letatel'nykh apparatov i ikh primeneniya v sel'skom khozyaystve [Review of the state of the world market of drons and their application for agriculture] // Robotics and Technical Cybernetics. 2019. Vol. 7. No. 3. Pp. 183–195. DOI: 10.31776/RTCJ.7303. (In Russian.)
12. Khomyakov D. M. Pravovye aspekty ispol'zovaniya novykh tsifrovyykh tekhnologiy s bespilotnymi letatel'nymi apparatami v sel'skom khozyaystve [Legal aspects of the use of new digital technologies with drones in agriculture] // Agricultural machinery: maintenance and repair. 2019. No. 9. Pp. 57–63. (In Russian.)
13. Eyriyan G. N. Bespilotniki: vzglyad s pozitsiy zemel'nogo zakonodatel'stva [Drones: a view in the context of land legislation] // Lex Russica. 2020. Vol. 73. No. 10. Pp. 63–72. DOI: 10.17803/1729-5920.2020.167.10.063-072. (In Russian.)
14. Zubarev Yu. N., Fomin D. S., Chashchin A. N., Zabolotnova M. V. Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom khozyaystve [Use of uncleaned aircraft in agriculture] // Perm Federal Research Centre Journal. 2019. No. 2. Pp. 47–51. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5. (In Russian.)
15. Khabarina D. S., Tishaninov I. A. Analiz primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov (BPLA) razlichnogo tipa v sel'skom khozyaystve [Analysis of the use of various types of unmanned aerial vehicles (UAVS) in agriculture] // The science without borders. 2021. No. 4 (56). Pp. 78–83. (In Russian.)
16. Bashilov A. M., Korolev V. A. Avtonomnye bespilotnye letatel'nye apparaty v tochnykh sistemakh agroproduktivnosti [Autonomous drones in precision agricultural production systems] // Don agrarian science bulletin. 2018. No. 3 (43). Pp. 76–82. (In Russian.)
17. Kulikova E. G., Manapova D. I. Izuchenie vozmozhnostey ispol'zovaniya bespilotnogo letatel'nogo apparata v sel'skom khozyaystve [Studying the possibilities of using an unmanned aerial vehicle in agriculture] // Surskiy vestnik. 2022. No. 3 (19). Pp. 34–42. DOI: 10.36461/2619-1202_2022_03_006. (In Russian.)
18. Salaev B. K., Seregin A. A., Eviev V. A., Muchaev A. B., Glechikova N. A., Yudaev I. V. Analiz primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom khozyaystve [Analysis of using unmanned aerial vehicles in agriculture] // Don agrarian science bulletin. 2022. Vol. 15. No. 4 (60). Pp. 29–44. https://doi.org/10.55618/20756704_2022_15_4_29-44. (In Russian.)
19. Sadov A. A., Gladkov A. V., Bayverdiev A. A., Shorokhov P. N. Vozmozhnost' ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom khozyaystve dlya provedeniya analizov poley [Possibility of use of uncleaned aircraft in agriculture for carrying out analysis of fields] // Scientific and Technical Bulletin: Technical Systems in Agribusiness. 2019. No. 3 (3). Pp. 19–24. (In Russian.)
20. Vasil'chenko A. V. Innovatsii i tsifrovizatsiya v zashchite rasteniy [Innovation and digitalization in plant protection] // Fruit growing and viticulture of South Russia. 2020. No. 61 (1). Pp. 161–172. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-1-61-161-172. (In Russian.)
21. Kurchenko N. Yu. Tekhnologiya primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom khozyaystve [The technology of unmanned aerial vehicles in agriculture] // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2018. Vol. 3. No. 3. Pp. 37–42. <https://doi.org/10.22406/bjst-18-3.3-37-42>. (In Russian.)

22. Kudryavtsev D. V., Magdin A. G., Pripadchev A. D., Gorbunov A. A. Primenenie sel'skokhozyaystvennogo bespilnogo letatel'nogo apparata dlya obrabotki sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Application of agricultural unmanned aerial vehicle for processing agricultural crops] // Intelligent systems in production. 2021. Vol. 19. No. 3. Pp. 4–11. DOI: 10.22213/2410-9304-2021-3-4-11. (In Russian.)
23. Marchenko L. A., Artyushin A. A., Smirnov I. G., Mochkova T. V., Spiridonov A. Yu., Kurbanov R. K. Tekhnologiya vneseniya pestitsidov i udobreniy bespilotnym letatel'nym apparatami v tsifrovom sel'skom khozyaystve [Technology of pesticides and fertilizers application with unmanned aerial vehicles in digital agriculture] // Agricultural Machinery and Technologies. 2019. Vol. 13. No. 5. Pp. 38–45. DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-5-38-45. (In Russian.)
24. Truflyak E. V., Nazarenko L. V., Dadu M. M. Yu., Kulak A. A., Truflyak I. S. Ispol'zovanie bespilotnoy tekhnologii vneseniya udobreniy, gerbitsidnoy, insektitsidnoy i fungitsidnoy obrabotok pri vzdelyvanii ozimogo yachmenya [Use of drone technology for fertilisation, herbicide, insecticide and fungicide treatments in winter barley cultivation] // Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2023. No. 185. Pp. 139–156. DOI: 10.21515/1990-4665-185-010. (In Russian.)
25. Shevchenko V. A., Maksimenko V. P., Gubin V. K., Matveev A. V. Perspektivy ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v melioratsii [Perspectives of using unmanned aircraft systems in land reclamation] // Melioration and Water Management. 2018. No. 2. Pp. 23–26. (In Russian.)
26. Mohidem N. A., Che'Ya N. N., Juraimi A. S., Fazlil Ilahi W. F., Mohd Roslim M. H., Sulaiman N., Sa-berion M., Mohd Noor N. How Can Unmanned Aerial Vehicles Be Used for Detecting Weeds in Agricultural Fields? // Agriculture. 2021. № 11 (10). Article number 1004. DOI: 10.3390/agriculture11101004.
27. Nagothu S. K., Anitha G., Siranthini B., Anandi V., Prasad P. S. Weed detection in agriculture crop using unmanned aerial vehicle and machine learning // Materialstoday: proceedings. 2023. DOI: 10.1016/j.mat-pr.2023.03.350.
28. Librán-Embid F., Klaus F., Tsharntke T., Grass I. Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes – A systematic review // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 732. Article number 139204. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139204.
29. Kurchenko N. Yu., Naguchev Z. Kh. Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v otsenki ushcherba sel'skomu khozyaystvu [The use of unmanned aerial vehicles in assessing damage to agriculture] // Scientific horizons. 2021. No. 9 (49). Pp. 60–63. (In Russian.)
30. Mitrashchuk V. V., Baranova M. P. Konstruktsiya bespilnogo letatel'nogo apparata dlya primeneniya v sel'skom khozyaystve [Designing an unmanned aerial vehicle for using in agriculture] // Russia's agro-industrial complex. 2020. Vol. 27. No. 2. Pp. 333–338. (In Russian.)
31. BPLA: Daydzhest po robototekhnike [UAVS: Robotics Digest] [e-resource]. URL: <https://robotics.innopolis.university/wp-content/uploads/2021/02/Digest-Robotics2.pdf> (date of reference: 16.05.2023). (In Russian.)

Authors' information:

Nikolay Yu. Zubarev¹, candidate of economic sciences, senior lecturer of the department of world and regional economy, economic theory, ORCID 0000-0002-9725-9187, AuthorID 670224; +7 902 835-06-01, nu_zubarev@mail.ru

Anna A. Urasova², doctor of economic sciences, associate professor, leading researcher, director, ORCID 0000-0002-0598-5051, AuthorID 773894; +7 952 316-84-71, urasova.aa@uiec.ru

Lyudmila V. Glezman², candidate of economic sciences, associate professor, senior researcher, ORCID 0000-0001-9812-3356, AuthorID 298047; +7 982 465-45-50, glezman.lv@uiec.ru

Svetlana S. Fedoseeva², research assistant, ORCID 0000-0003-3721-315X, AuthorID 518612; +7 951 956-77-73, fedoseeva.ss@uiec.ru

Yuriy N. Zubarev³, doctor of agricultural sciences, professor of the department of agrobiotechnologies, chief researcher of the sector of organization and support of research and development management of scientific and innovative activities, ORCID 0000-0002-6049-3244, AuthorID 522714; +7 952 644-59-52, yn-zubarev@mail.ru

¹Perm State University, Perm, Russia

²Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm branch, Perm, Russia

³Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



Уральский государственный
аграрный университет

Founder and publisher:

Ural State Agrarian University

Address of founder, publisher and editorial board:

620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

А. В. Ручкин – кандидат социологических наук, шеф-редактор

О. А. Багрецова – ответственный редактор

А. В. Ерофеева – редактор

Н. А. Предеина – верстка, дизайн

Editorial:

A. V. Ruchkin – candidate of sociological sciences, chief editor

O. A. Bagretsova – executive editor

A. V. Erofeeva – editor

N. A. Predeina – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.

Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 10.01.2024 г. Усл. печ. л. 17,4. Авт. л. 14,2.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.

Нас индексируют / Indexed



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
При Министерстве образования и науки
Российской Федерации



Food and Agriculture Organization
of the United Nations



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



