



Уральский государственный
аграрный университет

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

Спецвыпуск
«Биология и биотехнологии»
Special issue
“Biology and biotechnologies”
2022

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

Сведения о редакционной коллегии

И. М. Донник (главный редактор), академик РАН, вице-президент РАН (Москва, Россия)
О. Г. Лоретц (заместитель главного редактора), ректор Уральского ГАУ (Екатеринбург, Россия)
П. Сотони (заместитель главного редактора), доктор ветеринарных наук, профессор, академик Венгерской академии наук, академик Польской медицинской академии, ректор, Университет 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 ГАУ (Екатеринбург, Россия)
Э. Д. Джавадов, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства (Ломоносов, Россия)
Л. И. Дроздова, Уральский ГАУ (Екатеринбург, Россия)
Н. Н. Зезин, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Екатеринбург, Россия)
С. Б. Исмуратов, 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. Кошаев, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)
В. С. Мымрин, ОАО «Уралплемцентр» (Екатеринбург, Россия)
А. Г. Нежданов, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии Россельхозакадемии (Воронеж, Россия)
М. С. Норов, Таджикский аграрный университет имени Шириншо Шотемур (Душанбе, Таджикистан)
В. С. Паштецкий, 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)
О. А. Рущицкая, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
А. А. Стекольников, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)
В. Г. Тюрин, 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)

Editorial board

Irina M. Donnik (Editor-in-Chief), Academician of the Russian Academy of Sciences, Vice President of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Olga G. Lorets (Deputy Chief Editor), rector of the Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Péter Sótonyi (Deputy chief editor), doctor of veterinary sciences, professor, academician of Hungarian Academy of Sciences, academician of Polish Medical Academy, rector, 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, All-Russian Research and Technological Poultry Institute (Lomonosov, Russia)
Lyudmila I. Drozdova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Nikita N. Zezin, 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, Kuban State Agrarian University (Krasnodar, Russia)
Vladimir S. Mymrin, “Uralplemstentr” (Ekaterinburg, Russia)
Anatoliy G. Nezhdanov, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Voronezh, Russia)
Mastibek S. Norov, Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur (Dushanbe, Tajikistan)
Vladimir S. Pashtetkiy, Research Institute of Agriculture of Crimea (Simferopol, Russia)
Yuriy V. Plugar, 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)
Olga A. Ruschitskaya, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Anatoliy A. Stekolnikov, 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)

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



Содержание

Contents

Биология и биотехнологии

Biology and biotechnologies

<i>N. F. Belousova, S. P. Bass, S. A. Zinovyeva, S. I. Sorokin, M. Wilkinson</i> Study of population-genomic structure of Vyatka horses in interline aspect	2	<i>N. F. Belousova, S. P. Bass, S. A. Zinovyeva, S. I. Sorokin, M. Wilkinson</i> Study of population-genomic structure of Vyatka horses in interline aspect
<i>Г. К. Дускаев, М. Я. Курилкина</i> Влияние фитовеществ на биохимический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров	9	<i>G. K. Duskaev, M. Ya. Kurilkina</i> The effect of phytomaterials on the biochemical composition of the muscle tissue of broiler chickens
<i>С. П. Меренкова, О. В. Зинина, О. П. Неверова</i> Технологические аспекты применения продуктов переработки семян конопли в рецептуре обогащенных кексов	21	<i>S. P. Merenkova, O. V. Zinina, O. P. Neverova</i> Technological aspects of the use of hemp seed processing products in the formulation of enriched cupcakes
<i>М. В. Петропавловский, И. М. Донник, Н. А. Безбородова, А. М. Коваленко, С. Н. Беляева</i> Изучение генетической вариабельности выделенных изолятов вируса лейкоза крупного рогатого скота в Белгородской области	33	<i>M. V. Petropavlovskiy, I. M. Donnik, N. A. Bezborodova, A. M. Kovalenko, S. N. Belyaeva</i> Study of genetic diversity of bovine leukemia virus isolates obtained in the Belgorod region
<i>С. Н. Санников, И. В. Петрова, О. Е. Черепанова</i> Феногенеогеография популяций сосны обыкновенной Якутии и Приамурья	44	<i>S. N. Sannikov, I. V. Petrova, O. E. Cherepanova</i> Phenogenogeography of <i>Pinus sylvestris</i> L. populations in Yakutia and the Amur region
<i>Л. А. Сенькова, Л. В. Гринец</i> Влияние орошения на температурный режим чернозема	58	<i>L. A. Senkova, L. V. Grinets</i> Influence of irrigation on the temperature regime of chernozem
<i>В. В. Чулкова, Г. В. Вяткина, В. А. Чулков, Т. В. Павленкова</i> Продуктивность сортов люпина узколистного в условиях Среднего Урала	69	<i>V. V. Chulkova, G. V. Vyatkina, V. A. Chulkov, T. V. Pavlenkova</i> Productivity of varieties of narrow-leaves lupine in the conditions of the Middle Urals
<i>Е. В. Шацких, Д. Е. Королькова-Субботкина</i> Состояние кишечника цыплят-бройлеров при включении в рацион фитобиотической добавки	81	<i>E. V. Shatskikh, D. E. Korolkova-Subbotkina</i> The state of the intestines of broiler chickens when a phytobiotic supplement is included in the diet
<i>Kh. S. Yumashev, I. A. Zakharova</i> The effect of straw on the humus state of chernozem	92	<i>Kh. S. Yumashev, I. A. Zakharova</i> The effect of straw on the humus state of chernozem

Study of population-genomic structure of Vyatka horses in interline aspect

N. F. Belousova¹✉, S. P. Bass², S. A. Zinovyeva³, S. I. Sorokin¹, M. Wilkinson^{4,5}

¹All-Russian Research Institute of Horse Breeding, Divovo, Russia

²Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia

³Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K. I. Scriabin, Moscow, Russia

⁴Curly Mustangs Association, Pagosa Springs, Colorado, USA

⁵International Curly Horses Organization, Pagosa Springs, Colorado, USA

✉E-mail: natfb@yandex.ru

Abstract. The population-genomic structure of the Vyatka horses was studied in the context of 10 male genealogical lines bred in the breed. **Purpose.** Evaluation of the genetic and breeding potential of the Vyatka breed, as well as the influence of factory breeds. **Methods.** Isolation of DNA from the hair follicles of Vyatka horses ($n = 38$) was performed using “ExtraGene DNA Prep 2000” by allele-specific PCR. Statistical calculations of allele frequencies and the types of studied loci were performed using MS Excel 10 software. **Results.** The polymorphism of MSTN, GYS1, DMTR3, CAST, and PRLR genes in Vyatka breed lines was studied for the first time. According to the frequency of occurrence CAST G/A (0.472) and PRLR G/C (0.417), as well as the genotype MSTN T/T (0.579) is somewhat dominated by the heterozygous genotypes characteristic of local breeds. They revealed polysaccharide accumulation mutation PSSM1 (0.189), characteristic of draft horses, and the DMRT3 mutation (0.087), which determines the ability for a non-standard gait-amble, noted among Oryol trotters, which indicates the presence of draft and trotting blood in the lines carrying these alleles. MSTN/C and DMRT3/A alleles, which are not typical for aborigines, are noted in Znatok line, whose representatives are distinguished by a lightweight body type and productive movements. The carriers of the mutant defective GYS1 allele (PSSM1) were identified in five lines: Bob, Gabizon, Buran, Dobrik, and Malakhit. Genotyping of all used stallions for genes associated with economically useful traits will allow more efficient selection in the Vyatka breed and prevent the spread of unwanted alleles, which is especially important for small breeds. **Scientific novelty.** For the first time, an intrapopulation genomic analysis of the domestic horse breed was studied in the interline aspect, and the influence of factory breeds on certain genealogical lines was shown. The polymorphism of the calpastatin (CAST) and prolactin receptor (PRLR) genes has not previously been studied in horse breeding.

Keywords: horses, Vyatka breed, genetics, breeding, DNA markers, genotype assessment, genealogical lines.

For citation: Belousova N. F., Bass S. P., Zinovyeva S. A., Sorokin S. I., Wilkinson M. Study of the population-genomic structure of Vyatka horses in interline aspect // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue “Biology and biotechnologies”. Pp. 2–8. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-2-8.

Date of paper submission: 05.10.2022, **date of review:** 28.10.2022, **date of acceptance:** 11.11.2022.

Introduction

To study and protect animal genetic resources, it is necessary to pay attention to breeding work aimed at preserving the linear structural diversity of breeds. 10 lines have been bred in the Vyatka breed (Bob, Gabizon, Bubenchik, Radius, Dobrik, Buran-Sobor, Znatok, Vorobey-Bagulnik, Kabur, Malakhit), the ways of selection and breeding work have been outlined in order to preserve genetic diversity. The Vyatka breed is extremely small, there are only 85 stallions in it [1, pp. 22, 24]. Applied breeding should be inextricably linked

with genetic methods, which is especially important in small breeds. The use of these technologies will make it possible to multiply the intensity of breeding, avoid the accumulation of negative genetic mutations, obtain up-to-date information and transfer of genetic complexes responsible for the severity of the main breeding traits among the horses of different lines and types [2, p. 13].

In recent years, Russian scientists have begun to introduce genomic analysis technologies in fundamental research to improve horse breeding [2, pp. 13–16; 3, pp. 14–15; 4, pp. 66–68; 5, pp. 57–62; 6, pp. 26–27;

7, pp. 258–266; 8, pp. 4–6; 9, p. 6]. Based on generalization of the study analysis of structural genes and DNA sections (STR, SNP) polymorphism among horses, they presented the trends of marker breeding use in the industry [2, pp. 13–16]. Among them, the selection was noted according to the markers associated with economically useful traits, as well as the diagnosis of hereditary diseases [2, pp. 13–16]. Studies have begun in the Vyatka breed on the genotypic features of the paint, as a valuable breeding marker of the breed [9, p. 6]. Scientists have determined the structure of the Vyatka breed of horses by mtDNA haplogroups [8, pp. 4–7].

The myostatin gene (MSTN) has been studied sufficiently in horse breeding. Myostatin is a regulator of skeletal muscle growth in many mammalian species. Mutations g.66493737 T > C and g.66493737 C > T were found in horses [4, p. 66; 5, p. 57; 6, p. 26; 10, p. 91]. The results of the study of myostatin polymorphism for the nucleotide substitution g.66493737 T > C indicate that this mutant allele is typical for many native horse breeds [4, p. 66; 5, p. 58; 6, p. 26; 7, p. 262–263]. The presence of the nucleotide substitution g.66493737 T > C in the MSTN locus of local breed horses suggests that it existed in the genome of their ancient ancestors during the period of domestication [7, p. 263]. The g.66493737 C > T was not found in the donkey and zebra, which allows us to conclude that the T-substitution is more ancient (wild), which is consistent with the herbivorous lifestyle of wild horses, when they needed to travel long distances in search of better pastures [4, p. 66]. The relationship between the polymorphism g.66493737 C > T and the distance qualities of racehorses was revealed. The horses with the C/C genotype are adapted for short distances, those with the C/T genotype for medium distances, and the horses with the T/T genotype are the best stayers [3, p. 15; 11, p. 29–33; 12, pp. 56–63]. Histological analysis confirmed that the horses with the MSTN C/C genotype had the musculature with well-developed short muscle fibers, which ensured a powerful start and productive muscle work over short distances, while the horses with the MSTN T/T genotype demonstrated mainly stayer abilities [3, pp. 14–15]. Scientists have found that the motivation of racehorses to win is conditioned by one of the genes of the peptidase family, encoded by PRCP with the function of cellular metabolism activation [12, pp. 56–63]. The success of horses in classical equestrian sports is also fixed at the genetic level [5, pp. 59–61; 9, pp. 92–63; 13, pp. 965–974]. The animals with the C/C and C/T genotypes are superior to the horses with the T/T genotype in terms of athletic qualities and measurements in equestrian disciplines [9, pp. 92–63]. The horses with the MSTN C/T genotype have some advantages in equestrian competitions in terms of the number of starts and the number of prize-winning places [5, pp. 59–61; 13, pp. 965–974].

The mutation in DMRT3 gene also became the history of microevolution of horse breeds due to the physiological effect on the coordination and variability of movements among horses and led to the appearance of amble and other "non-standard" gaits [7, p. 260]. This gene has replenished the gene pool of many breeds of horses and was named "Gait kee" [14]. A recessive mutation of DMRT3 gene, which determines the ability of a horse to move with an amble, was found among the horses of all breeds where pacers are found, also among some trotter breeds, including the Orlov trotter [15, p. 278]. During the study of Russian native breeds, a nonsense mutation in DMRT3 gene g.22999655 C > A was found among Altai, Bashkir, Vyatka, Mezen and Tuva horses [7, p. 264; 14, pp. 276–278]. Only two genotypes, A/C and C/C, were identified when studying the polymorphism of DMRT3 gene (g.22999655 C > A) among the horses of local Russian breeds. The majority of horses tested (90.0 %) had homozygous DMRT3C/C wild-type genotype. The frequency of the DMRT3A mutant allele occurrence in these breeds ranged from 0.043 (Vyatka) to 0.167 (Tuva). At the same time, the variability of the DMRT3 gene was found both among the horses of the northern forest breeds of the European part of the Russian Federation (Vyatka and Mezen), and among Tuva horses living in Southwestern Siberia and with a high level of the mutant allele fixation (0.167). It is assumed that the improvement of the local stock of horses by Oryol trotters led to the introduction of the DMRT3/A allele into some breeds [7, pp. 264–265].

A point mutation in GYS1 glycogen synthase locus (g.18940324 G > A) leading to polysaccharide accumulation myopathy (PSSM1) may be the reason for the horse performance reduction. Increased activity of mutant glycogen synthase leads to excessive accumulation of polysaccharides, mainly glycogen, in skeletal muscles and is the cause of rhabdomyolysis during exercise of horses. Clinical signs include muscle rigidity, sweating, weakness, reluctance to move, and often lameness [16, pp. 163–164]. This undesirable mutation in GYS1 gene is prevalent mainly among draft horses [7, pp. 265–266; 16, p. 164]. Among all the studied horses of domestic breeds, the homozygous defective A/A genotype in this locus was noted only in the Russian draft breed. The mutant allele GYS1A was found with a low frequency (0.016–0.050) among the horses of three local breeds - Bashkir, Buryat and Vyatka, which indicates a low probability of this mutation fixation in aboriginal populations. It is assumed that the presence of this defective allele among the horses of local breeds is conditioned by their long-term crossing with heavy draft breeds [7, pp. 265–266].

Thanks to modern methods of studying the horse genome, more than two dozen genes responsible for working capacity have been identified. Genotyping of horses based on DNA chips of different density, which can be used for early prediction of their working quali-

ties, drawing up an optimal training plan and maximizing the potential of animals is the most effective one. The task of assessing the genetic potential of horse performance is inextricably linked with the control problem of latent defects that reduce working qualities. DNA genotyping techniques for six such anomalies caused by single-locus mutations are available in our country.

In general, the polymorphism of GYS1, DMTR3 and MSTN genes associated with the working qualities of horses was studied in 10 Russian local breeds: Vyatka Altay, Bashkir, Mezen, Tuva, Tavdinskaya, Polesskaya, Priobskaya and Yakut breeds [7, pp. 262–267]. The C/C genotype of the MSTN gene was found, and the DMRT3/A and PSSM-1/A alleles, rare for native breeds, were also identified in the Vyatka breed, the only one of all native breeds. The genetic variability of horses at GYS1 and MSTN loci can affect the breeding efficiency, so FAO (2015) recommends using these markers when assessing the status of horse breeds and populations [7, p. 258].

When identifying marker genes, economically useful traits, other studies that affect the genetic conditionality of various physiological processes may be of particular interest. These genetic factors include the calpastatin (CAST) and prolactin receptor (PRLR) genes, which have not yet been studied in horses. The protein encoded by the CAST gene is an endogenous inhibitor of calpain (calcium-dependent cysteine protease). It is involved in the proteolysis of the amyloid precursor protein. The calpain/calpastatin system is involved in numerous membrane fusion events such as exocytosis of nerve vesicles and aggregation of platelets and erythrocytes [17, pp. 70–75]. The studies of the CAST gene conducted by Russian scientists in sheep breeding have shown that it encodes growth factors, their receptors, transport and regulatory proteins, i.e. participates in the formation of muscle mass and, therefore, affects the growth rate [18; 19, pp. 2–3]. The prolactin receptor (PRLR) refers to membrane receptors associated

with cytoplasmic protein kinases. It is a hormonal signal conductor for the gonadotropic hormone prolactin and pituitary growth hormone. The hormones of this family to some extent affect anabolic, hyperglycemic, lipotitic, lactogenic, and growth activity [20, pp. 1–2]. The influence of prolactin receptor (PRLR) genotypes on the milk productivity of cows and the reproductive qualities of sows was revealed [20, p. 8; 21, pp. 37–38].

Intrapopulation genomic analysis of domestic horse breeds has not been previously studied in the interline aspect. The scientists assessed the genealogical structure of the Vyatka breed using the analysis of microsatellite DNA polymorphism [22, pp. 462–466]. However, microsatellites do not carry key information about the genetic (phenotypic) characteristics of the horses in which they are detected. Microsatellite analysis is mainly focused on the main applied problem solution – control and certification of the horse origin reliability, implicitly the results of these studies will make it possible to judge intrabreed genetic diversity and genealogical relationships. Only a bioinformatic analysis of genomes and the selection of suitable snips, also encoding phenotypic traits, can provide valuable information both about horse breeds and their populations in general, and about individual animals. Genomic analysis can also be used, among other things, to identify the origin of animals [23, pp. 284–285].

The aim of the research is to study the population-genomic structure of the Vyatka horses in the interline aspect to assess the genetic and breeding potential of the Vyatka breed and the influence of factory breeds. To do this, the task was set in the context of the genealogical lines of the Vyatka breed to study the polymorphism of genes that affect the health and working qualities of horses, in particular, the loci that cause the accumulation mutation of polysaccharides GYS1 (PSSM type 1), non-standard gait (DMTR3), myostatin genes (MSTN), as well as calpastatin (CAST) and prolactin receptors (PRLR).

Table 1
Genotype polymorphism in the genes of calpastatin (CAST), prolactin receptor (PRLR) and myostatin (MSTN) among Vyatka breed lines (P)

Line	CAST			PRLR			MSTN					
	n	AA	GA	GG	n	CC	GC	GG	n	CC	TC	TT
Bob	9	0.444	0.111	0.444	9	0.444	0.444	0.111	8	0.250	0.000	0.750
Bubenchik	1	0.000	1.000	0.000	1	0.000	1.000	0.000	1	0.000	0.000	1.000
Gabizon	4	0.750	0.250	0.000	4	0.250	0.750	0.000	5	0.000	0.400	0.600
Buran	7	0.286	0.714	0.000	7	0.286	0.143	0.571	2	0.000	0.500	0.500
Znatok	–	–	–	–	–	–	–	–	7	0.143	0.429	0.429
Radius	1	0.000	1.000	0.000	1	0.000	0.000	1.000	2	0.000	0.500	0.500
Dobrik	13	0.231	0.538	0.231	13	0.308	0.308	0.385	5	0.000	0.600	0.400
Malakhit	–	–	–	–	–	–	–	–	4	0.000	0.250	0.750
Vorobey	–	–	–	–	–	–	–	–	2	0.000	0.000	1.000
Kabur	1	0.000	1.000	0.000	1	0.000	1.000	0.000	2	0.000	1.000	0.000
Total	36	0.333	0.472	0.194	36	0.306	0.417	0.278	38	0.079	0.342	0.579

Methods

The object of the study is the horses of the Vyatka breed (stallions, mares) in the amount of 38 heads. Sampling was carried out during the period of 2019–2022 among the horses owned by collective farms and private owners of four breeding regions of the Vyatka breed: the Udmurt Republic, Kirov, Lipetsk and Moscow regions. DNA extraction from hair follicles was performed using ExtraGene DNA Prep 2000 ("Isogen", Moscow). When scanning for mutations in GYS1 and MSTN loci, DNA amplification was performed by allele-specific PCR (AS-PCR) using specially selected primers. DMRT3 gene polymorphism was detected by restriction fragment length determination (PCR-PRFL) using BstDE-I restrictase. Electrophoresis of the amplified samples was carried out in 2 % agarose gel with the addition of ethidium bromide and visualization of the results in UV radiation. CAST and PRLR analysis were performed by allele-specific PCR. The main studies were carried out on the basis of the HorseGen Independent Research Laboratory (Moscow), and partially at the Etalon Diagnostics laboratory (USA) with the great assistance of Dr. M. Wilkinson. Statistical calculations of the allele frequencies and the types of the studied loci were carried out using MS Excel 10 program.

Results

For the first time, a genomic intrapopulation analysis was carried out for a number of SNP markers of great breeding and economic importance (MSTN, DMRT3, PSSM1) in the Vyatka breed. For the first time in horse breeding, the genes of calpastatin (CAST) and prolactin receptor (PRLR) have been studied. Table 1 presents the results of Vyatka breed horse genotyping for the CAST, PRLR and MSTN genes in the context of lines.

CAST and PRLR genotypes were studied in seven out of ten male lines of the breed. The Vyatka breed demonstrated polymorphism of the CAST and PRLR genotypes, represented by three genotypes and two alleles at each locus. Heterozygous genotypes G/A

(CAST) and G/C (PRLR) with the indicators of 0.472 and 0.417 dominate by the frequency of occurrence. Intraline analysis of genotype occurrence frequency in the CAST locus showed a certain predominance of the homozygous genotype A/A and G/G in the Bob line and the A/A genotype in the Gabizon line. The heterozygous genotype CAST G/A prevails in the Buran and Dobrik lines. The prevalence of the homozygous G/G genotype was noted in the most numerous lines of Buran and Dobrik at the PRLR locus. The heterozygous G/C genotype predominates in the Gabizon line (Table 1).

Myostatin genes (MSTN) have been studied in all ten genealogical lines of the Vyatka breed. Almost all lines showed the highest cumulative frequency of MSTN T/C and T/T genotypes. C/C genotype, which is not typical for aborigines, was detected in only two lines, including the Znatok line, whose representatives, in terms of type, agility and quality of movements, deviate towards the "leptosome" (quickly agile) type. The predominance of the T/T genotype characteristic of local breeds was noted in Bob, Gabizon, Malakhit and Vorobey lines, among the studied representatives of the Buran, Znatok and Radius lines, the T/C and T/T genotypes are equally found, and there is a predominance of heterozygous T/C genotype in the lines of Dobrik and Kabur. In general, for the breed, the maximum frequency of occurrence was noted among the horses with the T/T genotype (0.579), the minimum – among individuals with the C/C genotype (0.079) (Table 1).

In order to identify potential genetic trends in the Vyatka breed, the laboratory of Etalon Diagnostics (USA) with the great assistance of Dr. M. Wilkinson conducted genomic studies of almost standard Vyatka stallion Blagovest by phenotype, obtained from the Dobrik × Gabizon cross line common in the Vyatka breed. Genotyping was carried out at 19 loci. In particular, genetic predisposition to immune system diseases (SLC5A3, DNAPK, OAS1), muscular (GYS1 (PSSM type 1), GBE1, SCN4A, RYR1, CLCN4), neurologi-

Table 2
The frequency of allele A occurrence in GYS1 (PSSM type 1) and DMRT3 mutations among Vyatka breed lines

Line	DMRT3			PSSM-1		
	N	n	P	N	n	P
Bob	5	0	0.000	4	1	0.250
Bubenchik	1	0	0.000	1	0	0.000
Gabizon	3	0	0.000	3	1	0.333
Buran	–	–	–	6	3	0.500
Znatok	6	2	0.333	4	0	0.000
Radius	1	0	0.000	3	0	0.000
Dobrik	2	0	0.000	10	1	0.100
Malakhit	3	0	0.000	2	1	0.500
Vorobey	2	0	0.000	1	0	0.000
Kabur	–	–	–	3	0	0.000
Total	23	2	0.087	37	7	0.189

cal (MUTYH, MYO5A), reproductive disorders (AR, FKBP6), and skin diseases (PPIB, LAMC2, LAMA3) was revealed among this stallion. Among the genes responsible for economically useful traits, the following have been studied: lordosis of horses – a predisposition to age-related spine collapse (ECA20), to non-standard gaits (DMRT3), the aforementioned myostatin (MSTN) and the “curiosity/vigilance” gene responsible for the good nature of a horse (DRD4), which genetically confirmed the good nature and human orientation of this horse. The latter gene is of particular interest for practical application, however, since the DRD4 isolation technique was not finally tested in the Russian laboratory “HorsGen”, where our genotyping was carried out, the studies of this gene of interest to us have not yet been continued on a large sample of animals.

The results of the studies revealed the absence of 14 out of 15 prototyped mutant alleles that cause hereditary diseases. Among the genes responsible for health, the stallion Blagovest turned out to be a carrier of the PSSM type 1 allele encoded by A, which gave us grounds to analyze the frequency of this allele occurrence in a given sample. Along with this, we typed a group of Vyatka horses for the mutation DMRT3_Ser301STOP, which is not typical for the Vyatka breed, also encoded by A (Table 2).

The studies of GYS1 allele (PSSM1) in Vyatka horses found that its frequency in the breed makes 0.189. The carriers of this allele were identified in the lines of Bob, Gabizon, Buran, Dobrik, and Malakhit (Table 2). We believe that this allele was introduced into the Vyatka breed through wide cross-breeding with the Russian draft horse. The ancestors of the lines with the highest frequency of occurrence of the PSSM-1 mutation (0.500) Buran and Malakhit were phenotypically characterized by a rather massive “airizome” physique, which suggests that they have a certain proportion of draft horse blood. Besides, Sobor, the only successor of the Buran line, who also had a mutation, was inbred to the Russian heavy draft stallion Gilita (III–IV). Homozygous individuals for this mutation with the GYS1A/A genotype were not found in the Vyatka breed. Two carriers of the mutant allele of DMRT3 gene were identified in the Znatok line, which, like the ancestor, represented a pronounced lightweight type by phenotype.

Discussion and Conclusion

Polymorphism of the CAST, PRLR and MSTN genotypes was revealed in the Vyatka breed, heterozygous genotypes G/A (CAST), G/C (PRLR) and the T/T genotype typical of local breeds (MSTN) dominate by the frequency of occurrence. The homozygous genotype MSTN T/T prevails in almost all lines of the Vyatka breed. They revealed the mutation of polysaccharides PSSM1 accumulation, which is characteristic of draft horses, and the mutation that determines the ability to amble DMRT3, noted in Oryol trotters, which indicates the presence of draft and trotting blood in the lines carrying these alleles. MSTN/C and DMRT3/A alleles, which are not typical for aborigines, are noted in the Znatok line, whose representatives are mainly characterized by a lighter type and productive movements. The carriers of the defective GYS1 allele (PSSM1) were noted in five lines (Bob, Gabizon, Buran-Sobor, Dobrik, Malakhit). The comparison of the above genetic and phenotypic factors gives grounds to assume the obvious influence of trotting blood in the origin of the Znatok line ancestor, as well as the possible influence of draft horses in the origin of the Buran and Malakhit line ancestors. Genotyping of all stallions used for the genes associated with economically useful traits will allow more efficient breeding of the Vyatka breed and prevent the spread of defective alleles, which is especially important for small populations.

The data on the genetic profile of the prototyped Vyatka horses is included in the list of bioinformatic data about horses entered into the electronic database of the Vyatka breed developed by us. The results of our research are applied already in drawing up a program of selection and breeding work with the Vyatka breed of horses. It is planned to continue and expand the studies of genotypic markers that are responsible for the economic and biological characteristics of a horse, as well as carrying undesirable alleles. Also, in order to increase the efficiency of breeding work, preserve and improve horse breeds, it is necessary to expand the list of DNA genotyping methods available in Russia for other unexplored animal markers, especially those with the most economic importance.

Acknowledgements

The study was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation according to the thematic plan of the FSBEI Izhevsk State Agricultural Academy (subject No. 122020300065-3).

References

1. Belousova N. F., Bass S. P., Kirkin A. I. Monitoring genealogicheskoy struktury liniy v vyatskoy porode loshadey [Monitoring of the genealogical structure of lines among the Vyatka horses] // Konevodstvo i Konny Sport. 2022. No. 1. Pp. 22–25. (In Russian.)
2. Khrabrova L. A. Ispol'zovanie DNK tekhnologiy v konevodstve [Use of DNA technologies in horse breeding] // Effective animal husbandry. 2015. No. 6 (115). Pp. 13–17. (In Russian.)

3. Aydarov V. A., Vikulova L. L., Sorokin S. I. Izuchenie polimorfnykh variantov gena miostatina, assotsirovannykh s distantsionnymi sposobnostyami loshadey chistokrovnoy verkhovoy porody [Study of polymorphic variants of the myostatin gene associated with the distance abilities of Thoroughbred riding horses] // Konevodstvo i konnyy sport. 2017. No. 4. Pp. 14–15. (In Russian.)
4. Voronkova V. N., Stolpovskiy Yu. A. Otsenka geneticheskogo raznoobraziya aborigennykh porod Sayano-Altayskogo regiona s ispol'zovaniem yadernykh i mitokhondrial'nykh DNK-markerov [Assessment of the genetic diversity of native breeds of the Sayano-Altai region using nuclear and mitochondrial DNA markers] // Aborigennoe konevodstvo Rossii: istoriya, sovremennost', perspektivy. Arkhangel'sk, 2018. Pp. 60–69 (In Russian.)
5. Zinov'eva S. A., Khrabrova L. A., Sorokin S. I., Blokhina N. V., Zelenchenkova A. A. Spekr gaplotipov miostatina (MSTN) u loshadey raznykh porod [Myostatin haplotype spectrum (MSTN) among the horses of different breeds] // Veterinary, Zootechnics and Biotechnology. 2020. No. 3. Pp. 57–63. (In Russian.)
6. Khrabrova L. A., Blokhina N. V., Sorokin S. I. Variabel'nost' genotipov miostatina (MSTN) u loshadey aborigennykh porod [Variability of myostatin genotypes (MSTN) among the horses of aboriginal breeds] // Konevodstvo i konnyy sport. 2020. No. 1. Pp. 26–27. (In Russian.)
7. Khrabrova L. A., Blokhina N. V., Sorokin S. I. Polimorfizm genov GYS1, DMTR3 i MSTN u loshadey mestnykh porod [Polymorphism of GYS1, DMTR3 and MSTN genes among the horses of local breeds] // Aborigennye porody loshadey – natsional'noe dostoyanie Rossii: Arkhangel'skaya oblast'. Arkhangel'sk, 2022. Pp. 258–268. (In Russian.)
8. Khrabrova L. A., Zaytsev A. M., Kalashnikov V. V., Blokhina N. V., Belousova N. F., Sorokin S. I. Struktura vyatskoy porody loshadey po gaplogruppam mtDNK [The structure of the Vyatka horse breed according to mtDNA haplogroups] // Konevodstvo i konnyy sport. 2020. No. 4. Pp. 4–7. (In Russian.)
9. Belousova N. F., Bass S. P., Zinoveva S. A., Kozlov S. A., Markin S. S. Features of coat color and markings and impact of dun factor on Vyatka horse breed // International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019). Kazan, 2019. Vol. 17. DOI: 10.1051/bioconf/20201700202.
10. Vishnevets A. V., Krasochko P. P., Budrevich O. L. Polimorfizm gena MSTN (miostatin) i ispol'zovanie ego v selektsii loshadey verkhovykh porod [Polymorphism of the MSTN (myostatin) gene and its use in breeding of riding horses] // Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine": 2017. Vol. 53. Iss. 4. Pp. 90–94. (In Russian.)
11. Binns M. M., Boehler D. A., Lambert D. H. Identification of the myostatin locus (MSTN) as having a major effect on optimum racing distance in the Thoroughbred horse in the USA // Animal genetics. 2010. Vol. 41 (2). Pp. 28–35.
12. Hill E. W., Gu J., Eivers S. S., Fonseca R. G., McGivney B. A., Govindarajan P., Orr N., Katz L. M., MacHugh D. E., MacHugh D. A sequence polymorphism in MSTN predicts sprinting ability and racing stamina in thoroughbred horses // PloS ONE. 2010. Vol. 5. No. 1. DOI: 10.1371/journal.pone.0008645
13. Pira E., Vassa G. M., Dettori M. L. et al. Polymorphism at Myostatin gene (MSTN) and the associations with sport performances in Anglo-Arabian racehorses // Animals. 2021. No. 11. Pp. 964–976.
14. Staiger E. A., Almén M. S., Promerová M. et al. The evolutionary history of the DMRT3 "Gait keeper" haplotype // Animal Genetics. 2017. Vol. 48. No. 5. Pp. 551–559.
15. Promerova M., Andersson L. S., Juras R., Penedo M. C. T., Reissmann M., Tozaki T., Bellone R., Dunner S., Horin P., Imsland F., Imsland P., Mikko S., Modry D., Roed K. H., Schwochow D., Vega-Pla J. L., Mehrabani-Yeganeh H., Yousefi-Mashouf N., Cothran E. G., Lindgren G., Andersson L. Worldwide frequency distribution of the "Gait keeper" mutation in the DMRT3 gene // Stichting International Foundation for Animal Genetics. 2014. No. 45. Pp. 274–282.
16. Valberg S. J., Mickelson J. R. The interplay of genetics, exercise and nutrition in polysaccharide storage myopathy // Proceedings of the 25 Annual American College of Veterinary Internal Medicine Conference, Seattle. 2007. Pp. 163–165.
17. Raynaud P. C., Jayat-Vignoles M. P., Laforet H., Leveziel V. Amarger Four promoters direct expression of the calpastatin gene // Archives of Biochemistry and Biophysics. 2005. No. 437 (1). Pp. 69–77..
18. Karpova E. D. Polimorfizm genov GH, CAST, analiz assotsiatsiy ikh genotipov s pokazatelyami lipidnogo obmena, immunnogo statusa, produktivnosti ovets v ontogeneze: dis... kand. biol. nauk: 06.02.07 [Polymorphism of the GH, CAST genes, analysis of associations of their genotypes with the indicators of lipid metabolism, immune status, productivity of sheep in ontogenesis: abstract of the dissertation ... candidate of biological sciences: 06.02.07]. Stavropol, 2021. 121 p. (In Russian.)
19. Lushnikov V. P., Fetisova T. O., Selionova M. A., Chizhova L. N., Surzhikova E. S. Polimorfizm genov somatotropina (9GH), kal'pstatina (CAST), differentsial'nogo faktora rosta (GDF 9) u ovets tatarstanskoy porody

[Polymorphism of somatotropin (9GH), calpastatin (CAST), differential growth factor (GDF 9) genes among the sheep of the Tatarstan breed] // Sheep, goats, wool business. 2020. No. 1. Pp. 2–3. (In Russian)

20. Leonova M. A., Svyatogorova A. E. Vosproizvoditel'nye kachestva sviney porody landras raznykh genotipov po genam PRLR i MC4R [Reproductive qualities of landrace pigs of different genotypes by PRLR and MC4R genes] [e-resource] // Scientific Journal of KubSAU. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/65.pdf> (date of reference: 28.09.2022) (In Russian.)

21. Leonova M. A., Getmantseva L. V., Usatov A. V. Rol' gena prolaktina i ego retseptora v formirovanii priznakov produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh zhitovnykh [The role of the prolactin gene and its receptor in the formation of productivity traits among farm animals] // Genetics and animal breeding. 2014. No. 4. Pp. 37–39. (In Russian.)

22. Khrabrova L. A., Blokhina N. V., Belousova N. F., Kotran E. G. Otsenka genealogicheskoy struktury vyatskoy porody loshadey (*Equus ferus caballus*) s ispol'zovaniem analiza DNK [Evaluation of the genealogical structure of the Vyatka horse breed (*Equus ferus caballus*) using DNA analysis] // Russian Journal of Genetics. 2022. Vol. 88. No. 4. Pp. 462–466. (In Russian.)

23. Garafutdinov R. R., Gaynullina K. P., Kir'yanova O. Yu., Yurina A. V., Dolmatova I. Yu., Loginov O. N., Chemeris A. V. Polimorfizm DNK loshadi *Equus caballus* i metody ego vyyavleniya [DNA polymorphism of the horse *Equus caballus* and its detection methods] // Biomics. 2020. Vol. 12 (2). Pp. 272–299. (In Russian.)

Authors' information:

Natalya F. Belousova¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher of breeding department,

ORCID 0000-0003-0515-0123, AuthorID 275931; +7 903 740-31-35, natfb@yandex.ru

Svetlana P. Bass², candidate of agricultural sciences, associate professor, ORCID 0000-0003-3979-1279,

AuthorID 560585; +7 912 764-19-45, sveta.bass@inbox.ru

Svetlana A. Zinovieva³, candidate of biological sciences, associate professor, ORCID 0000-0003-0593-2344,

AuthorID 570705; +7 903 248-72-44, pyhkarev@mail.ru

Sergey I. Sorokin¹, candidate of agricultural sciences, consultant at the genetic laboratory,

ORCID 0000-0002-0012-413X, AuthorID 783033; +7 977 756-59-09, sorokinsergey77@gmail.com

Mitch Wilkinson^{4,5}, doctoral master's degree in biology, chairman⁴, vice-chairman of the research department⁵,

ORCID 0000-0002-8161-6004; wdocmitch16@yahoo.com

¹All-Russian Research Institute of Horse Breeding, Divovo, Russia

²Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia

³Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K. I. Scriabin, Moscow, Russia

⁴Curly Mustangs Association, Pagosa Springs, Colorado, USA

⁵International Curly Horses Organization, Pagosa Springs, Colorado, USA

Влияние фитовеществ на биохимический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров

Г. К. Дускаев^{1✉}, М. Я. Курилкина¹

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

✉E-mail: gduskaev@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – оценка влияния фитовеществ на биохимический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров. **Методы исследований:** атомно-эмиссионная спектрометрия, капиллярный электрофорез, газохроматография. **Научная новизна.** Впервые проведена оценка влияния фитовеществ (гамма-окталактона, ванилиновой кислоты) на биохимический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров. **Результаты.** Биохимический состав мышечной ткани характеризовался более низким содержанием аминокислот: тирозина (грудные мышцы), лизина, треонина, аланина, лейцина + изолейцина (бедренные мышцы) во II группе ($P \leq 0,05$), и высоким валина и гистидина (грудные мышцы) в I группе ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем. Также установлено увеличение концентрации жирных кислот в грудной мышце ($P \leq 0,05$): миристиновой и арахиновой (I и II), стеариновой (III), линолевой (II и III); снижением пальмитиновой (III) и пальмитоолеиновой (II и III). В бедренных мышцах установлено увеличение концентрации миристиновой (III группа, $P \leq 0,05$), олеиновой (II группа, $P \leq 0,05$) жирных кислот. У цыплят-бройлеров I группы в грудной мышце снизились ($P \leq 0,05$) концентрации макроэлементов (Ca, P, K, Na) и микроэлементов (B, Fe). Во II группе установлено увеличение ($P \leq 0,05$) Ca, Co, Mn, Zn, в III – Fe ($P \leq 0,05$). В бедренной мышечной ткани I группы снизились ($P \leq 0,05$) концентрации макроэлементов K, Mg и увеличились ($P \leq 0,05$) Na, Ca, B, Cu, Ni, I, Zn. Во II группе увеличилось ($P \leq 0,05$) содержание B, а в III, наоборот, обнаружено снижение ($P \leq 0,05$) Ca и K. Таким образом, использование ванилиновой кислоты в отдельности или в сочетании с гамма-лактоном способствует повышению биологической ценности мышечной ткани цыплят-бройлеров в части увеличения ряда незаменимых аминокислот, ненасыщенных жирных кислот и важных макро- и микроэлементов.

Ключевые слова: фитовещества, ванилиновая кислота, гамма-лактон, мышечная ткань, цыплята-бройлеры.

Для цитирования: Дускаев Г. К., Курилкина М. Я. Влияние фитовеществ на биохимический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров // Аграрный вестник Урала. 2022. Специальный выпуск «Биология и биотехнологии». С. 9–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-9-20.

Дата поступления статьи: 05.10.2022, **дата рецензирования:** 28.10.2022, **дата принятия:** 15.11.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Фитобиотики, также известные как фитохимические или фитогенные препараты, обладают широким спектром биологической активности и недавно появились в качестве альтернативы синтетическим антибиотикам – стимуляторам роста. Эти соединения также обладают противовоспалительным, антимикробным и другими воздействиями [1, с. 2]. Известно, что фитобиотики (мука из листьев *Persicaria odorata* и *Piper betle*) улучшали морфологию кишечника, положительно модулировали и поддерживали динамику микробиоты слепой кишки с повышенной усвояемостью питательных веществ, тем самым повышая показатели роста [2, с. 5]. Кроме того, фитобиотики способствуют повышению потребления корма и живой массы ($P \leq 0,05$) в

том числе, как предполагается, за счет увеличения ($P \leq 0,05$) высоты ворсинок и соотношения высоты ворсинок и глубины крипт в подвздошной, тощей и двенадцатиперстной кишках [3, с. 4].

Фитобиотические вещества способны избирательно действовать на отдельные штаммы *Salmonella* spp. [4, с. 3]. Смесь фитобиотиков, содержащую тимол, ментол, линалоол, транс-анетол, метилсалицилат, 1,8-цинеол и п-цимол, проявляла антибактериальную активность в отношении данных патогенных штаммов, выделенных у бройлеров. Некоторые исследования выявили потенциальные возможности введения в рацион перца для повышения продуктивности цыплят-бройлеров [5, с. 3; 6, с. 4], так же как и дубильные вещества каштана модулируют метаболизм, поддерживают рост и эф-

фektivность кормления бройлеров [7, с. 4]. Отмечена положительная роль эфирных масел, особенно экстрактов из семейства *Apiaceae*, на продуктивность бройлеров; раскрыты возможные механизмы, влияющие на здоровье кишечника и показатели роста [8, с. 3]. Изохинолиновые алкалоиды (стандартизированная смесь) растительного происхождения в условиях теплового стресса способствуют повышению показателей роста цыплят-бройлеров, что может быть связано с усилением окислительного стресса, катаболизма белков, барьерной функции кишечника [9, с. 3].

При сравнительном действии антибиотика (авиламицин) и трех фитобиотических кормовых добавок подтверждена эффективность последних в поддержании показателей роста и улучшении мясных характеристик бройлеров, зараженных *S. typhimurium* [10, с. 5].

Фитобиотики (мука листьев *Persicaria odorata*) улучшает гематологические показатели и биохимические профили сыворотки цыплят-бройлеров без какого-либо неблагоприятного воздействия на гистоморфологию печени на фоне увеличения показателей роста [11, с. 5].

Отмечено дозозависимое воздействие фитобиотических (галибиотических) добавок в корме [12, с. 3], а также синергетическое взаимодействие с другими веществами. Так, изучено влияние скармливания бензойной кислоты и куркумовой муки по отдельности или в комбинации на фоне рационов из пшенично-соевой муки. Установлено, что они избирательно улучшали показатели роста, изменяли рН и рост кишечника, а также повышали эффективность использования энергии корма [13, с. 4].

Обнаружен положительный синергетический эффект пробиотиков и фитобиотиков на бактериальный состав кишечника и их метаболическую активность у бройлеров [14, с. 4] на фоне инфекции, вызываемой *S. perfringens* [15, с. 4], на показатели роста и гематологические параметры у бройлеров [16, с. 2; 17, с. 5].

Таким образом целью исследований являлось оценка влияния фитовеществ на биохимический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров.

Методология и методы исследования (Methods)

В исследовании были использованы следующие фитохимические вещества: ванилиновая кислота (4-гидрокси-3-метоксибензойная кислота, 97+%, Acros Organics), гамма-лактон (98 %, Acros Organics); цыплята-бройлеры (кросс Арбор Айкрес).

Экспериментальные исследования были проведены на 120 головах 7-дневных цыплят-бройлеров (Арбор Айкрес, 4 группы, $n = 30$). Контрольная группа – основной рацион (ОР); I опытная – гамма-лактон (доза в среднем 0,07 мл/гол/день); II опытная – ванилиновая кислота (доза в

среднем 0,07 мл/гол/день); III опытная – гамма-лактон + ванилиновая кислота (1:1; доза в среднем 0,07 мл/гол/день). Кормление и поение птицы осуществлялось групповым методом согласно рекомендациям ВНИТИП. Кормление цыплят осуществляли согласно потребности организма в различные возрастные периоды с использованием кормов ПК-5 и ПК-6.

Взвешивание каждой особи осуществлялось индивидуально ежедневно утром до кормления.

Декапитация птицы проводилась под нембуталовым эфиром на 42-е сутки эксперимента, определялась масса внутренних органов цыплят-бройлеров.

Лабораторные исследования проводились в условиях центра коллективного пользования научным оборудованием Федерального научного центра биологических систем и агротехнологии РАН.

Макро- и микроэлементный анализ мышечной и печеночной тканей, а также кормов исследовали на масс-спектрометре с индуктивной связанной плазмой Agilent 7900 с системой ВЭЖХ 1260 Infinity II BIO-Inert.

Определение аминокислотного состава биосубстратов – методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105М».

Определение жирно-кислотного состава биосубстратов – методом газовой хроматографии на автоматическом газовом хроматографе «Кристалл-ЛЮКС-4000».

Работа была выполнена в соответствии с протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики в соответствии с Национальным стандартом Российской Федерации (ГОСТ Р 53434-2009). Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных Федерального научного центра биологических систем и агротехнологии РАН.

Статистический анализ проводился с использованием программы SPSS Statistics версии 20 (IBM, США), которая использовалась для вычисления среднего значения (M), ошибки стандартного отклонения (m). При дальнейшем анализе использовался знаковый ранговый тест Уилкоксона, и результаты были признаны значимыми с уровнем 95 % ($P \leq 0,05$).

Результаты (Results)

Аминокислотный состав грудных мышц (рис. 1) характеризовался более низким содержанием тирозина во II группе ($P \leq 0,05$), и высоким – валина и гистидина в I группе ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем.

Аминокислотный состав бедренных мышц (рис. 2) характеризовался более высоким содержанием лизина, треонина, аланина, лейцина + изолейцина в сумме во II группе ($P \leq 0,05$), низким – валина в I группе ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем.

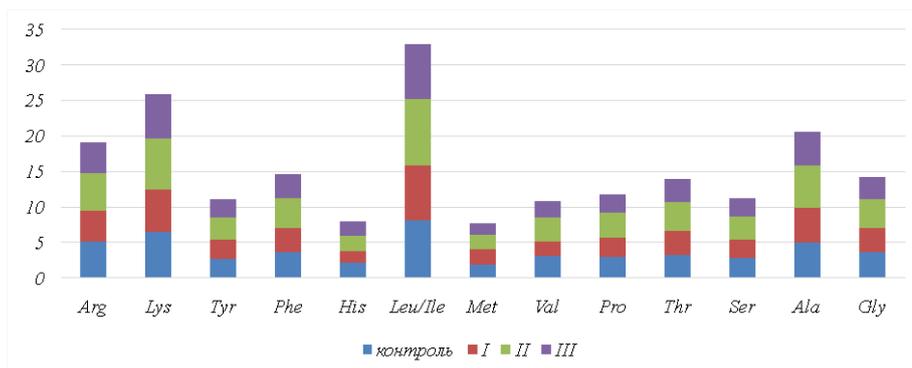


Рис. 1. Результаты аминокислотного состава грудной мышцы цыплят-бройлеров ($n = 5$), %
 Arg – аргинин; Lys – лизин; Tyr – тирозин; Phe – фенилаланин; His – гистидин; Leu/Ile – лейцин + изолейцин (в сумме); Met – метионин; Val – валин; Pro – пролин; Thr – треонин; Ser – серин; Ala – аланин; Gly – глицин

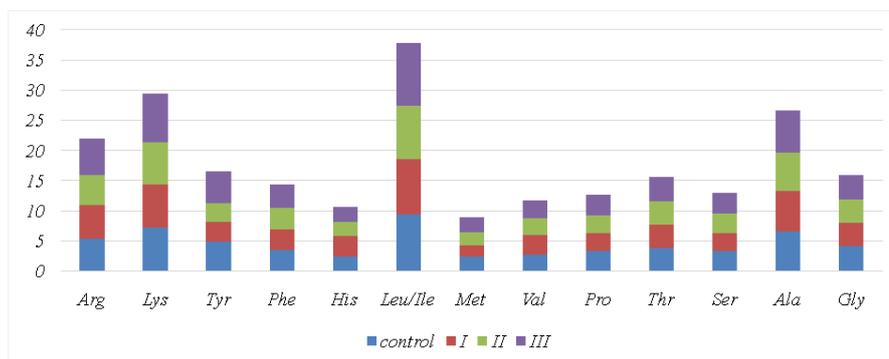


Fig. 1. Amino acid composition of the pectoral muscle of broiler chickens ($n = 5$), %
 Arg – arginine; Lys – lysine; Tyr – tyrosine; Phe – phenylalanine; His – histidine; Leu/Ile – leucine + isoleucine (in aggregate);
 Met – methionine; Val – valine; Pro – proline; Thr – threonine; Ser – serine; Ala – alanine; Gly – glycine

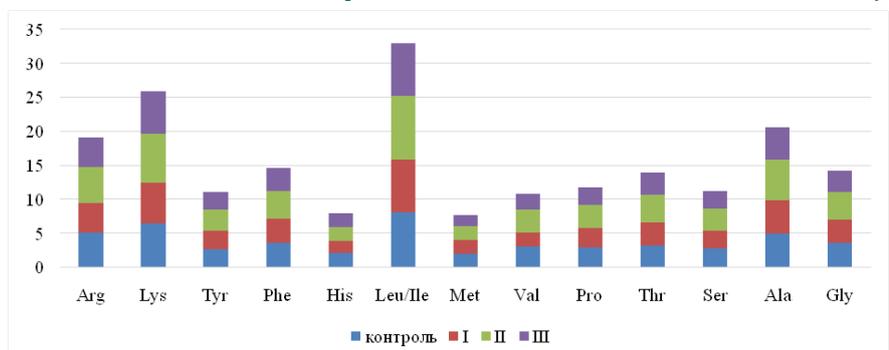


Рис. 2. Результаты аминокислотного состава бедренной мышцы цыплят-бройлеров ($n = 5$), %
 Arg – аргинин; Lys – лизин; Tyr – тирозин; Phe – фенилаланин; His – гистидин; Leu/Ile – лейцин + изолейцин (в сумме); Met – метионин; Val – валин; Pro – пролин; Thr – треонин; Ser – серин; Ala – аланин; Gly – глицин

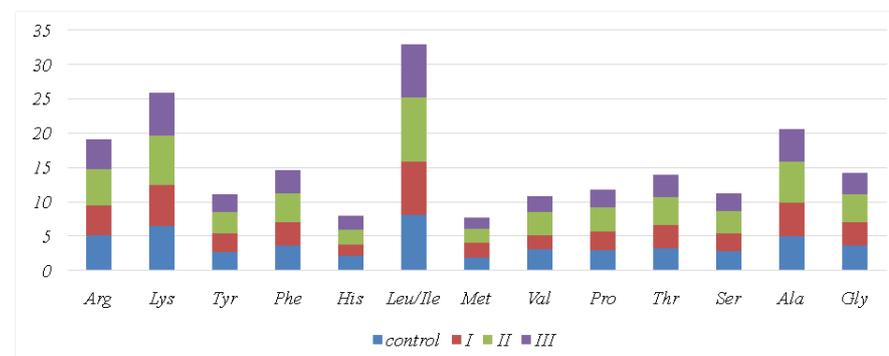


Fig. 2. Amino acid composition of the femoral muscle of broiler chickens ($n = 5$), %
 Arg – arginine; Lys – lysine; Tyr – tyrosine; Phe – phenylalanine; His – histidine; Leu/Ile – leucine + isoleucine (in aggregate);
 Met – methionine; Val – valine; Pro – proline; Thr – threonine; Ser – serine; Ala – alanine; Gly – glycine

Анализ жирнокислотного состава грудных мышц (таблица 1) показывает увеличение ($P \leq 0,05$) концентрации насыщенных: миристиновой в I и II группе, стеариновой в III группе, арахиновой в I и II группах и полиненасыщенной линолевой во II и III группах жирных кислот и снижение ($P \leq 0,05$) насыщенной пальмитиновой в III группе и мононенасыщенной пальмитоолеиновой во II и III группах жирных кислот.

Анализ жирнокислотного состава бедренных мышц (таблица 2) показывает увеличение ($P \leq 0,05$) концентрации, насыщенной миристиновой (III группа), мононенасыщенной олеиновой (II группа) жирных кислот в опытных группах и снижение ($P \leq 0,05$) насыщенных арахиновой (I группа), стеариновой (II и III группы) и мононенасыщенной пальмитоолеиновой (III группа) в сравнении с контролем.

Вес внутренних органов (селезенка и печень) характеризовался более низкими значениями во второй и третьей опытных группах в сравнении с контролем (таблица 3).

Результаты биохимического состава печеночной ткани (таблица 4) показывают, что отдельное использования биологически активных веществ в рационе (I и II группы) цыплят-бройлеров приводит к снижению ($P \leq 0,05$) концентрации макроэлементов кальция и натрия, эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов бора, хрома, никеля и ванадия, токсичных элементов алюминия, свинца, олова и кадмия и увеличению железа ($P \leq 0,05$).

В то же время совместное использование биологически активных веществ в рационе (III группа) цыплят-бройлеров приводит к увеличению ($P \leq 0,05$) кальция и алюминия и снижению ($P \leq 0,05$) железа, натрия, бора, хрома, кадмия.

Таблица 1
Жирнокислотный состав грудной мышцы цыплят-бройлеров ($n = 5$), %

Кислота	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
$C_{13}H_{27}COOH$	$0,2 \pm 0,09$	$0,4 \pm 0,08^*$	$0,5 \pm 0,11^*$	$0,3 \pm 0,17$
$C_{15}H_{31}COOH$	$25,2 \pm 0,18$	$22,8 \pm 0,12$	$21,5 \pm 0,17$	$18,2 \pm 0,13^*$
$C_{15}H_{29}COOH$	$7 \pm 0,11$	$5,8 \pm 0,13$	$3,1 \pm 0,09^*$	$3,8 \pm 0,13^*$
$C_{17}H_{35}COOH$	$7,6 \pm 0,17$	$7,4 \pm 0,23$	$9,3 \pm 0,19$	$10,2 \pm 0,11^*$
$C_{17}H_{33}COOH$	$36,9 \pm 0,14$	$38,1 \pm 0,13$	$34,6 \pm 0,17$	$31,9 \pm 0,14$
$C_{17}H_{31}COOH$	$16,7 \pm 0,13$	$18,3 \pm 0,09$	$24,8 \pm 0,12^*$	$25,1 \pm 0,17^*$
$C_{17}H_{29}COOH$	$6 \pm 0,18$	$5,8 \pm 0,21$	$4,9 \pm 0,27$	$6,9 \pm 0,14$
$C_{19}H_{39}COOH$	$0,4 \pm 0,18$	$0,9 \pm 0,07^*$	$0,8 \pm 0,21^*$	$0,5 \pm 0,13$
$C_{21}H_{43}COOH$	$0,2 \pm 0,11$	$0,5 \pm 0,12^*$	$0,5 \pm 0,17^*$	$0,1 \pm 0,24$

Примечание. $C_{13}H_{27}COOH$ – миристиновая; $C_{15}H_{31}COOH$ – пальмитиновая; $C_{15}H_{29}COOH$ – пальмитолеиновая; $C_{17}H_{35}COOH$ – стеариновая; $C_{17}H_{33}COOH$ – олеиновая; $C_{17}H_{31}COOH$ – линолевая; $C_{17}H_{29}COOH$ – линоленовая; $C_{19}H_{39}COOH$ – арахиновая; $C_{21}H_{43}COOH$ – бегеновая.

* $P \leq 0,05$ в сравнении с контрольной группой.

Table 1
Fatty acid composition of the pectoral muscle of broiler chickens ($n = 5$), %

Acid	Group			
	Control	I experienced	II experienced	III experienced
$C_{13}H_{27}COOH$	0.2 ± 0.09	$0.4 \pm 0.08^*$	$0.5 \pm 0.11^*$	0.3 ± 0.17
$C_{15}H_{31}COOH$	25.2 ± 0.18	22.8 ± 0.12	21.5 ± 0.17	$18.2 \pm 0.13^*$
$C_{15}H_{29}COOH$	7 ± 0.11	5.8 ± 0.13	$3.1 \pm 0.09^*$	$3.8 \pm 0.13^*$
$C_{17}H_{35}COOH$	7.6 ± 0.17	7.4 ± 0.23	9.3 ± 0.19	$10.2 \pm 0.11^*$
$C_{17}H_{33}COOH$	36.9 ± 0.14	38.1 ± 0.13	34.6 ± 0.17	31.9 ± 0.14
$C_{17}H_{31}COOH$	16.7 ± 0.13	18.3 ± 0.09	$24.8 \pm 0.12^*$	$25.1 \pm 0.17^*$
$C_{17}H_{29}COOH$	6 ± 0.18	5.8 ± 0.21	4.9 ± 0.27	6.9 ± 0.14
$C_{19}H_{39}COOH$	0.4 ± 0.18	$0.9 \pm 0.07^*$	$0.8 \pm 0.21^*$	0.5 ± 0.13
$C_{21}H_{43}COOH$	0.2 ± 0.11	$0.5 \pm 0.12^*$	$0.5 \pm 0.17^*$	0.1 ± 0.24

Note. $C_{13}H_{27}COOH$ – myristic; $C_{15}H_{31}COOH$ – palmitic; $C_{15}H_{29}COOH$ – palmitoleic; $C_{17}H_{35}COOH$ – stearic; $C_{17}H_{33}COOH$ – oleic;

$C_{17}H_{31}COOH$ – linoleic; $C_{17}H_{29}COOH$ – linolenic; $C_{19}H_{39}COOH$ – arachin; $C_{21}H_{43}COOH$ – behenic.

* $P \leq 0.05$ compared to the control group.

Таблица 2
Жирнокислотный состав бедренной мышцы цыплят-бройлеров (n = 5), %

Кислота	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
C ₁₃ H ₂₇ COOH	0,3 ± 0,12	0,4 ± 0,17	0,3 ± 0,11	0,5 ± 0,14*
C ₁₅ H ₃₁ COOH	19,3 ± 0,14	18,4 ± 0,18	16,1 ± 0,21	18,3 ± 0,16
C ₁₅ H ₂₉ COOH	0,9 ± 0,21	0,9 ± 0,11	0,9 ± 0,17	0,5 ± 0,11*
C ₁₇ H ₃₅ COOH	16,2 ± 0,12	13,8 ± 0,15	9,3 ± 0,17*	6,6 ± 0,13*
C ₁₇ H ₃₃ COOH	20,1 ± 0,17	21,8 ± 0,14	24,9 ± 0,11*	19,0 ± 0,18
C ₁₇ H ₃₁ COOH	38,8 ± 0,20	35,4 ± 0,18	45,5 ± 0,19	32,5 ± 0,15
C ₁₇ H ₂₉ COOH	4,0 ± 0,14	4,2 ± 0,31	2,6 ± 0,18*	6,1 ± 0,32
C ₁₉ H ₃₉ COOH	0,3 ± 0,11	0,1 ± 0,27*	0,4 ± 0,24	0,3 ± 0,22
C ₂₁ H ₄₃ COOH	0,1 ± 0,11	0,2 ± 0,28*	–	0,5 ± 0,29*

Примечание: C₁₃H₂₇COOH – миристиновая; C₁₅H₃₁COOH – пальмитиновая; C₁₅H₂₉COOH – пальмитолеиновая; C₁₇H₃₅COOH – стеариновая; C₁₇H₃₃COOH – олеиновая; C₁₇H₃₁COOH – линолевая; C₁₇H₂₉COOH – линоленовая; C₁₉H₃₉COOH – арахидиновая; C₂₁H₄₃COOH – бегеновая.

* P ≤ 0,05 в сравнении с контрольной группой.

Table 2
Fatty acid composition of the femoral muscle of broiler chickens (n = 5), %

Acid	Group			
	Control	I experienced	II experienced	III experienced
C ₁₃ H ₂₇ COOH	0.3 ± 0.12	0.4 ± 0.17	0.3 ± 0.11	0.5 ± 0.14*
C ₁₅ H ₃₁ COOH	19.3 ± 0.14	18.4 ± 0.18	16.1 ± 0.21	18.3 ± 0.16
C ₁₅ H ₂₉ COOH	0.9 ± 0.21	0.9 ± 0.11	0.9 ± 0.17	0.5 ± 0.11*
C ₁₇ H ₃₅ COOH	16.2 ± 0.12	13.8 ± 0.15	9.3 ± 0.17*	6.6 ± 0.13*
C ₁₇ H ₃₃ COOH	20.1 ± 0.17	21.8 ± 0.14	24.9 ± 0.11*	19.0 ± 0.18
C ₁₇ H ₃₁ COOH	38.8 ± 0.20	35.4 ± 0.18	45.5 ± 0.19	32.5 ± 0.15
C ₁₇ H ₂₉ COOH	4.0 ± 0.14	4.2 ± 0.31	2.6 ± 0.18*	6.1 ± 0.32
C ₁₉ H ₃₉ COOH	0.3 ± 0.11	0.1 ± 0.27*	0.4 ± 0.24	0.3 ± 0.22
C ₂₁ H ₄₃ COOH	0.1 ± 0.11	0.2 ± 0.28*	–	0.5 ± 0.29*

Note: C₁₃H₂₇COOH – myristic; C₁₅H₃₁COOH – palmitic; C₁₅H₂₉COOH – palmitoleic; C₁₇H₃₅COOH – stearic; C₁₇H₃₃COOH – oleic;

C₁₇H₃₁COOH – linoleic; C₁₇H₂₉COOH – linolenic; C₁₉H₃₉COOH – arachidic; C₂₁H₄₃COOH – behenic.

* P ≤ 0.05 compared to the control group.

Таблица 3
Вес внутренних органов цыплят-бройлеров, г (M ± m, n = 30, опыт в условиях вивария)

Орган	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Селезенка	3,20 ± 0,59	3,02 ± 0,99	2,23 ± 0,32	2,95 ± 0,58
Печень	54,65 ± 6,19	61,40 ± 7,44	52,55 ± 2,36	50,77 ± 2,97

Table 3
Mass of internal organs of broiler chickens, g (M ± m, n = 30, experience in a vivarium)

Internal organ	Group			
	Control	I experienced	II experienced	III experienced
Spleen	3.20 ± 0.59	3.02 ± 0.99	2.23 ± 0.32	2.95 ± 0.58
Liver	54.65 ± 6.19	61.40 ± 7.44	52.55 ± 2.36	50.77 ± 2.97

Результаты биохимического состава грудной мышечной ткани показывают, что отдельное использования биологически активного вещества в рационе (I группа) цыплят-бройлеров приводит к снижению (P ≤ 0,05) концентрации макроэлементов кальция, фосфора, калия, натрия, эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов бора, железа, никеля. Использование ванилиновой кислоты (II группа) приводит к увеличению (P ≤ 0,05) каль-

ция, кобальта, марганца, цинка. В то же время совместное использование биологически активных веществ в рационе (III группа) цыплят-бройлеров приводит к увеличению (P ≤ 0,05) железа и снижению бора (P ≤ 0,05) (таблица 5).

Результаты биохимического состава бедренной мышечной ткани показывают (таблица 6), что отдельное использования биологически активного вещества в рационе (I группа) цыплят-бройлеров при-

водит к снижению ($P \leq 0,05$) концентрации макроэлементов калия и магния и увеличению ($P \leq 0,05$) натрия, кальция, бора, меди, никеля, йода и цинка.

Использование ванилиновой кислоты (II группа) приводит к увеличению бора ($P \leq 0,05$). В то же время совместное использование биологически активных веществ в рационе (III группа) цыплят-бройлеров приводит к увеличению ($P \leq 0,05$) никеля на фоне снижения ($P \leq 0,05$) кальция, калия и кремния (таблица 6).

Биохимический анализ сыворотки крови показал (таблица 7) наличие низких концентраций кальция и фосфора ($P \leq 0,05$) в I опытной группе и более высокие значения железа ($P \leq 0,05$) во II опытной группе в сравнении с контролем.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Использованные в эксперименте вещества оказали разнонаправленное действие на аминокислотный состав мышечных тканей цыплят-бройлеров. В частности, более значительные изменения произошли в бедренных мышцах, во II опытной груп-

пе увеличилось содержание четырех незаменимых аминокислот (лизина, треонина, лейцина + изолейцина в сумме). Отмечалось увеличение ненасыщенных жирных кислот в группах с ванилиновой кислотой (грудная мышца – линолевая кислота) и во второй группе (бедренные мышцы – олеиновая кислота), а также ряда важных макро- и микроэлементов.

В качестве вероятного механизма действия в данном случае можно рассматривать способность фитобиотиков модифицировать морфологию кишечника, изменяя усвояемость и всасывание питательных веществ. Так, фитобиотики и добавки, связывающие токсины, улучшили показатели роста и морфологию кишечника цыплят-бройлеров, подвергшихся заражению. Отмечено, что цыплят-бройлеры, получавшие фитобиотическую добавку в сочетании с токсинсвязывающим веществом, имели большую длину ворсинок и глубину крипт [18, с. 4].

Таблица 4
Элементный состав печени цыплят-бройлеров, мкг/г ($M \pm m$, $n = 30$, опыт в условиях вивария)

Элемент	Группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Концентрация макроэлементов				
Ca	123,0 ± 21,1	96,7 ± 8,69**	93,5 ± 8,6**	215,4 ± 19,6**
P	3948,1 ± 385,6	3949,5 ± 295,6	3713,2 ± 245,7*	3935,2 ± 295,3
K	3872,1 ± 288,6	4220,2 ± 389,3**	3542,1 ± 285,1	4014,2 ± 386,5
Mg	238,4 ± 22,3	236,2 ± 19,4	230,4 ± 18,7	242,5 ± 18,3
Na	1826,3 ± 178,4	1560,3 ± 148,2*	1616,8 ± 158,2*	1537,4 ± 148,6*
Концентрация важных и условно важных микроэлементов				
As	0,02 ± 0,003	0,02 ± 0,003	0,02 ± 0,003	0,02 ± 0,003
B	0,24 ± 0,019	0,13 ± 0,016**	0,17 ± 0,021*	0,14 ± 0,017**
Co	0,02 ± 0,003	0,02 ± 0,003	0,02 ± 0,001	0,02 ± 0,001
Cr	0,36 ± 0,043	0,2 ± 0,014*	0,17 ± 0,021**	0,19 ± 0,022*
Cu	5,51 ± 0,49	4,69 ± 0,37	4,55 ± 0,32	5,18 ± 0,48
Fe	352,0 ± 33,1	522,1 ± 49,3**	597,3 ± 56,2**	281,4 ± 19,5*
I	0,36 ± 0,043	0,29 ± 0,04	0,25 ± 0,03	0,3 ± 0,026
Li	0,05 ± 0,008	0,05 ± 0,007	0,06 ± 0,009	0,07 ± 0,002
Mn	3,76 ± 0,35	3,39 ± 0,29	3,9 ± 0,28	3,99 ± 0,35
Ni	0,23 ± 0,022	0,08 ± 0,012**	0,1 ± 0,015**	0,16 ± 0,019
Se	0,89 ± 0,11	0,86 ± 0,103	0,8 ± 0,096	0,73 ± 0,088
Si	6,2 ± 0,52	5,38 ± 0,49*	6,28 ± 0,53	6,04 ± 0,55
V	0,02 ± 0,003	0,01 ± 0,002**	0,01 ± 0,002**	0,02 ± 0,004
Zn	32,5 ± 2,85	30,1 ± 3,4	27,7 ± 1,98	41,4 ± 3,25
Al	2,04 ± 0,12	1,1 ± 0,09**	1,75 ± 0,15	4,68 ± 0,38**
Концентрация токсичных микроэлементов				
Cd	0,05 ± 0,008	0,03 ± 0,005*	0,05 ± 0,008	0,02 ± 0,004**
Hg	0,03 ± 0,005	0,03 ± 0,004	0,04 ± 0,006	0,04 ± 0,005
Pb	0,04 ± 0,007	0,03 ± 0,004	0,02 ± 0,003**	0,04 ± 0,006
Sn	0,03 ± 0,005	0,008 ± 0,002*	0,01 ± 0,002*	0,02 ± 0,003
Sr	0,19 ± 0,023	0,12 ± 0,015	0,13 ± 0,015	0,2 ± 0,014

Примечание. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ в сравнении с контрольной группой.

Table 4

The elemental composition of the liver of broiler chickens, mcg/g
($M \pm m$, $n = 30$, experience in a vivarium)

Element	Control	I experienced	II experienced	III experienced
Concentration of trace elements				
Ca	123.0 ± 21.1	96.7 ± 8.69**	93.5 ± 8.6**	215.4 ± 19.6**
P	3948.1 ± 385.6	3949.5 ± 295.6	3713.2 ± 245.7*	3935.2 ± 295.3
K	3872.1 ± 288.6	4220.2 ± 389.3**	3542.1 ± 285.1	4014.2 ± 386.5
Mg	238.4 ± 22.3	236.2 ± 19.4	230.4 ± 18.7	242.5 ± 18.3
Na	1826.3 ± 178.4	1560.3 ± 148.2*	1616.8 ± 158.2*	1537.4 ± 148.6*
Concentration of important and conditionally important trace elements				
As	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.003
B	0.24 ± 0.019	0.13 ± 0.016**	0.17 ± 0.021*	0.14 ± 0.017**
Co	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.001	0.02 ± 0.001
Cr	0.36 ± 0.043	0.2 ± 0.014*	0.17 ± 0.021**	0.19 ± 0.022*
Cu	5.51 ± 0.49	4.69 ± 0.37	4.55 ± 0.32	5.18 ± 0.48
Fe	352.0 ± 33.1	522.1 ± 49.3**	597.3 ± 56.2**	281.4 ± 19.5*
I	0.36 ± 0.043	0.29 ± 0.04	0.25 ± 0.03	0.3 ± 0.026
Li	0.05 ± 0.008	0.05 ± 0.007	0.06 ± 0.009	0.07 ± 0.002
Mn	3.76 ± 0.35	3.39 ± 0.29	3.9 ± 0.28	3.99 ± 0.35
Ni	0.23 ± 0.022	0.08 ± 0.012**	0.1 ± 0.015**	0.16 ± 0.019
Se	0.89 ± 0.11	0.86 ± 0.103	0.8 ± 0.096	0.73 ± 0.088
Si	6.2 ± 0.52	5.38 ± 0.49*	6.28 ± 0.53	6.03 ± 0.5
V	0.02 ± 0.003	0.01 ± 0.002**	0.01 ± 0.002**	0.02 ± 0.004
Zn	32.5 ± 2.85	30.1 ± 3.4	27.7 ± 1.98	41.4 ± 3.25
Al	2.04 ± 0.12	1.1 ± 0.09**	1.75 ± 0.15	4.68 ± 0.38**
Concentration of toxic trace elements and heavy metals				
Cd	0.05 ± 0.008	0.03 ± 0.005*	0.05 ± 0.008	0.02 ± 0.004**
Hg	0.03 ± 0.005	0.03 ± 0.004	0.04 ± 0.006	0.04 ± 0.005
Pb	0.04 ± 0.007	0.03 ± 0.004	0.02 ± 0.003**	0.04 ± 0.006
Sn	0.03 ± 0.005	0.008 ± 0.002*	0.01 ± 0.002*	0.02 ± 0.003
Sr	0.19 ± 0.023	0.12 ± 0.015	0.13 ± 0.015	0.2 ± 0.014

Note. * $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$ compared to the control group.

Фитогенная смесь на основе органических кислот, дубильных веществ, куркумина и эфирных масел в дозе 250 мг/кг снижала насыщенные жирные кислоты и увеличивала ненасыщенные жирные кислоты [19, с. 5], что отмечалось и в наших исследованиях.

Фитобиотический препарат, содержащий масло корицы и лимонную кислоту, положительно влиял на микробиом тонкого кишечника, метаболизм липидов [20, с. 5]. Аналогичный результат наблюдали мы в своих исследованиях.

Также предполагается, что кормовые добавки с фитобиотиками способны улучшать здоровье кишечника за счет снижения общего количества кишечной палочки в слепой кишке [21, с. 5; 22, с. 2], что благоприятно отражается на обмене веществ и отложению ненасыщенных жирных кислот в мышечной ткани.

Известно, что многие фенольные соединения (соединения, использованные в нашем эксперименте. также относятся к данной группе) обладают антимикробными свойствами [23, с. 5]. Механизмы

их антимикробных свойств до конца не выяснены, однако преобладает гипотеза о том, что они делают это путем дестабилизации поверхности микробных клеток и цитоплазматических мембран [24, с. 930].

Полученные в данном эксперименте результаты согласуются с ранее проведенными исследованиями. Так, было отмечено положительное действие фитовеществ и их сочетаний с другими биологически активными добавками на показатели качества мяса бройлеров [25, с. 4].

Кроме того, добавление в рацион цыплят-бройлеров *Boswellia serrata* (2 и 2,5 %), богатой биологически активными компонентами, такими как различные босвеллиевые кислоты, химический состав и питательную ценность получаемого мяса. Был отмечен повышенный уровень Ca в мышцах груди и голени ($P \leq 0,05$) и в печени ($P \leq 0,05$), а также Mg в мышцах голени и печени ($P \leq 0,05$), снижено содержание Cu (в мышцах грудки, голени и печени) ($P \leq 0,05$) [26, с. 300]. В нашем случае увеличение Ca было более высоким во II группе (грудная мышца), уровень Cu не изменился.

Таблица 5
Элементный состав грудной мышцы цыплят-бройлеров, мкг/г
($M \pm m$, $n = 30$, опыт в условиях вивария)

Элемент	Группа			
	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Концентрация макроэлементов				
Ca	68,6 ± 7,65	49,8 ± 3,65**	85,6 ± 7,58*	69,3 ± 5,86
P	3147,2 ± 265,3	2530,1 ± 243,1*	3173,5 ± 289,2	3443,2 ± 256,2
K	6154,2 ± 524,3	4623 ± 356,1*	6440,3 ± 546,2	6477,3 ± 542,3
Mg	395,3 ± 35,2	337,2 ± 33,1	398,2 ± 39,2	451,2 ± 35,6
Na	882,1 ± 78,6	746,2 ± 65,8*	828,3 ± 78,2	926,2 ± 85,2
Концентрация важных и условно важных микроэлементов				
B	0,25 ± 0,031	0,19 ± 0,013*	0,23 ± 0,027	0,14 ± 0,017*
Co	0,002 ± 0,0004	0,002 ± 0,0003	0,009 ± 0,0018*	0,003 ± 0,0007
Cr	0,13 ± 0,015	0,2 ± 0,024	0,27 ± 0,032*	0,14 ± 0,017
Cu	0,53 ± 0,06	0,42 ± 0,05	0,59 ± 0,07	0,49 ± 0,035
Fe	15,2 ± 1,48	10,3 ± 1,11*	17,2 ± 15,2	20,2 ± 1,89*
I	0,15 ± 0,018	0,05 ± 0,007	0,07 ± 0,011	0,1 ± 0,015
Mn	0,27 ± 0,032	0,17 ± 0,02	0,61 ± 0,073*	0,28 ± 0,033
Ni	0,04 ± 0,006	0,01 ± 0,002*	0,01 ± 0,013*	0,03 ± 0,005
Se	0,11 ± 0,013	0,11 ± 0,013	0,11 ± 0,014	0,15 ± 0,018
Si	6,24 ± 0,58	6,31 ± 0,58	6,8 ± 0,59	7,59 ± 0,55
Zn	4,96 ± 0,52	3,35 ± 0,32	9,57 ± 0,85*	5,61 ± 0,63
Al	1,05 ± 0,1	0,82 ± 0,098	0,87 ± 0,11	4,73 ± 0,35**
Концентрация токсичных микроэлементов и тяжелых металлов				
Cd	0,0007 ± 0,0002	0,002 ± 0,0003*	0,0009 ± 0,0003*	0,001 ± 0,0002*
Hg	0,03 ± 0,004	0,03 ± 0,005	0,03 ± 0,004	0,03 ± 0,005
Pb	0,02 ± 0,003	0,02 ± 0,001	0,02 ± 0,003	0,03 ± 0,004
Sn	0,005 ± 0,001	0,002 ± 0,0004**	0,01 ± 0,002	0,009 ± 0,002*
Sr	0,08 ± 0,013	0,05 ± 0,008*	0,09 ± 0,013	0,09 ± 0,013

Примечание. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ в сравнении с контрольной группой.

Table 5
The elemental composition of the pectoral muscle of broiler chickens, mcg/g
($M \pm m$, $n = 30$, experience in a vivarium)

Element	Control	I experienced	II experienced	III experienced
Concentration of trace elements				
Ca	68.6 ± 7.65	49.8 ± 3.65**	85.6 ± 7.58*	69.3 ± 5.86
P	3147.2 ± 265.3	2530.1 ± 243.1*	3173.5 ± 289.2	3443.2 ± 256.2
K	6154.2 ± 524.3	4623 ± 356.1*	6440.3 ± 546.2	6477.3 ± 542.3
Mg	395.3 ± 35.2	337.2 ± 33.1	398.2 ± 39.2	451.2 ± 35.6
Na	882.1 ± 78.6	746.2 ± 65.8*	828.3 ± 78.2	926.2 ± 85.2
Concentration of important and conditionally important trace elements				
B	0.25 ± 0.031	0.19 ± 0.013*	0.23 ± 0.027	0.14 ± 0.017*
Co	0.002 ± 0.0004	0.002 ± 0.0003	0.009 ± 0.0018*	0.003 ± 0.0007
Cr	0.13 ± 0.015	0.2 ± 0.024	0.27 ± 0.032*	0.14 ± 0.017
Cu	0.53 ± 0.06	0.42 ± 0.05	0.59 ± 0.07	0.49 ± 0.035
Fe	15.2 ± 1.48	10.3 ± 1.11*	17.2 ± 15.2	20.2 ± 1.89*
I	0.15 ± 0.018	0.05 ± 0.007	0.07 ± 0.011	0.1 ± 0.015
Mn	0.27 ± 0.032	0.17 ± 0.02	0.61 ± 0.073*	0.28 ± 0.033
Ni	0.04 ± 0.006	0.01 ± 0.002*	0.01 ± 0.013*	0.03 ± 0.005
Se	0.11 ± 0.013	0.11 ± 0.013	0.11 ± 0.014	0.15 ± 0.018
Si	6.24 ± 0.58	6.31 ± 0.58	6.8 ± 0.59	7.59 ± 0.65
Zn	4.96 ± 0.52	3.35 ± 0.32	9.57 ± 0.85*	5.61 ± 0.42
Al	1.05 ± 0.1	0.82 ± 0.098	0.87 ± 0.11	4.73 ± 0.35**
Concentration of toxic trace elements and heavy metals				
Cd	0.0007 ± 0.0002	0.002 ± 0.0003*	0.0009 ± 0.0003*	0.001 ± 0.0002*
Hg	0.03 ± 0.004	0.03 ± 0.005	0.03 ± 0.004	0.03 ± 0.005
Pb	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.001	0.02 ± 0.003	0.03 ± 0.004
Sn	0.005 ± 0.001	0.002 ± 0.0004**	0.01 ± 0.002	0.009 ± 0.002*
Sr	0.08 ± 0.013	0.05 ± 0.008*	0.09 ± 0.013	0.09 ± 0.013

Note. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ compared to the control group.

Таблица 6
 Элементный состав мышечной ткани бедра цыплят-бройлеров, мкг/г
 ($M \pm m$, $n = 30$, опыт в условиях вивария)

Элемент	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Концентрация макроэлементов				
Ca	66,5 ± 5,89	87,4 ± 7,65**	66,3 ± 5,68	59,7 ± 4,89*
K	6980,2 ± 568,3	6001 ± 586,3*	6106,3 ± 526,3*	6132,2 ± 586,3*
Mg	424,2 ± 39,5	317,4 ± 29,5*	356,2 ± 26,3	421,3 ± 39,2
Na	965,3 ± 85,2	1426,3 ± 139,5*	838,5 ± 78,2	840,2 ± 78,2
Концентрация важных и условно важных микроэлементов				
P	3354,2 ± 296,3	2888,2 ± 245,3	2906,2 ± 198,3	3131,2 ± 286,2
B	0,07 ± 0,011	0,18 ± 0,022*	0,17 ± 0,021*	0,11 ± 0,013
Co	0,002 ± 0,0004	0,003 ± 0,0006	0,003 ± 0,0006	0,002 ± 0,0005
Cr	0,11 ± 0,014	0,14 ± 0,017	0,1 ± 0,015	0,1 ± 0,014
Cu	0,52 ± 0,063	0,78 ± 0,094*	0,49 ± 0,059	0,5 ± 0,06
Fe	11,6 ± 1,05	15,1 ± 1,42	10,2 ± 0,85	8,79 ± 0,75
I	0,09 ± 0,013	0,16 ± 0,02*	0,08 ± 0,012	0,06 ± 0,009
Mn	0,28 ± 0,034	0,39 ± 0,046	0,33 ± 0,04	0,23 ± 0,019
Ni	0,01 ± 0,002	0,05 ± 0,007*	0,01 ± 0,002	0,02 ± 0,003*
Se	0,13 ± 0,016	0,18 ± 0,021	0,14 ± 0,017	0,12 ± 0,015
Si	6,88 ± 0,58	7,19 ± 0,69	6,64 ± 0,58	5,31 ± 0,59*
Zn	8,56 ± 0,75	14,9 ± 1,21*	9,68 ± 0,85	8,26 ± 0,83
Al	0,82 ± 0,099	1,41 ± 0,09**	0,45 ± 0,054	0,65 ± 0,066
Концентрация токсичных микроэлементов и тяжелых металлов				
Cd	0,0005 ± 0,0001	0,003 ± 0,0005**	0,0005 ± 0,0001	0,0006 ± 0,0002
Hg	0,03 ± 0,005	0,03 ± 0,005	0,03 ± 0,005	0,02 ± 0,003
Pb	0,02 ± 0,003	0,02 ± 0,003	0,01 ± 0,002	0,01 ± 0,002
Sn	0,006 ± 0,0013	0,005 ± 0,0009	0,002 ± 0,0004	0,04 ± 0,006
Sr	0,07 ± 0,011	0,13 ± 0,016**	0,08 ± 0,012	0,06 ± 0,009

Примечание. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ в сравнении с контрольной группой.

Table 6
 Elemental composition of thigh muscle tissue of broiler chickens, mcg/g
 ($M \pm m$, $n = 30$, experience in a vivarium)

Element	Control	I experienced	II experienced	III experienced
Concentration of trace elements				
Ca	66.5 ± 5.89	87.4 ± 7.65**	66.3 ± 5.68	59.7 ± 4.89*
K	6980.2 ± 568.3	6001 ± 586.3*	6106.3 ± 526.3*	6132.2 ± 586.3*
Mg	424.2 ± 39.5	317.4 ± 29.5*	356.2 ± 26.3	421.3 ± 39.2
Na	965.3 ± 85.2	1426.3 ± 139.5*	838.5 ± 78.2	840.2 ± 78.2
Concentration of important and conditionally important trace elements				
P	3354.2 ± 296.3	2888.2 ± 245.3	2906.2 ± 198.3	3131.2 ± 286.2
B	0.07 ± 0.011	0.18 ± 0.022*	0.17 ± 0.021*	0.11 ± 0.013
Co	0.002 ± 0.0004	0.003 ± 0.0006	0.003 ± 0.0006	0.002 ± 0.0005
Cr	0.11 ± 0.014	0.14 ± 0.017	0.1 ± 0.015	0.1 ± 0.014
Cu	0.52 ± 0.063	0.78 ± 0.094*	0.49 ± 0.059	0.5 ± 0.06
Fe	11.6 ± 1.05	15.1 ± 1.42	10.2 ± 0.85	8.79 ± 0.75
I	0.09 ± 0.013	0.16 ± 0.02*	0.08 ± 0.012	0.06 ± 0.009
Mn	0.28 ± 0.034	0.39 ± 0.046	0.33 ± 0.04	0.23 ± 0.019
Ni	0.01 ± 0.002	0.05 ± 0.007*	0.01 ± 0.002	0.02 ± 0.003*
Se	0.13 ± 0.016	0.18 ± 0.021	0.14 ± 0.017	0.12 ± 0.015
Si	6.88 ± 0.58	7.19 ± 0.69	6.64 ± 0.58	5.31 ± 0.48*
Zn	8.56 ± 0.75	14.9 ± 1.21*	9.68 ± 0.85	8.26 ± 0.73
Al	0.82 ± 0.099	1.41 ± 0.09**	0.45 ± 0.054	0.65 ± 0.077
Concentration of toxic trace elements and heavy metals				
Cd	0.0005 ± 0.0001	0.003 ± 0.0005**	0.0005 ± 0.0001	0.0006 ± 0.0002
Hg	0.03 ± 0.005	0.03 ± 0.005	0.03 ± 0.005	0.02 ± 0.003
Pb	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.003	0.01 ± 0.002	0.01 ± 0.002
Sn	0.006 ± 0.0013	0.005 ± 0.0009	0.002 ± 0.0004	0.04 ± 0.006
Sr	0.07 ± 0.01	0.13 ± 0.016**	0.08 ± 0.012	0.06 ± 0.009

Note. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ compared to the control group.

Таблица 7

Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров ($M \pm m$, $n = 30$, опыт в условиях вивария)

Показатель	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Кальций, мкмоль/л	3,67 ± 0,08	3,02 ± 0,06*	3,65 ± 0,28	3,63 ± 0,09
Фосфор, ммоль/л	10,86 ± 0,37	3,01 ± 0,39*	7,28 ± 1,19	10,03 ± 0,16
Железо, мкмоль/л	15,67 ± 0,99	26,47 ± 4,94	29,93 ± 2,13*	24,30 ± 3,64

Примечание. * $P \leq 0,05$ в сравнении с контрольной группой.

Table 7

Biochemical blood parameters of broiler chickens ($M \pm m$, $n = 30$, experience in a vivarium)

Indicator	Group			
	Control	I experienced	II experienced	III experienced
Calcium, mmol/l	3.67 ± 0.08	3.02 ± 0.06*	3.65 ± 0.28	3.63 ± 0.09
Phosphorus, mmol/l	10.86 ± 0.37	3.01 ± 0.39*	7.28 ± 1.19	10.03 ± 0.16
Iron, mmol/l	15.67 ± 0.99	26.47 ± 4.94	29.93 ± 2.13*	24.30 ± 3.64

Note. * $P \leq 0.05$ compared to the control group.

Изменение химического состава мышечной ткани наблюдалось и при добавлении семян льна, они способствовали увеличению содержания Ca (грудная мышца и печень), Cu (грудная мышца и желудочек) и Fe (голень и сердце), изменили содержание Fe и Ca в плазме крови цыплят-бройлеров [27, с. 4].

У цыплят-бройлеров, получавших питьевую воду с добавлением натурального эфирного масла лаванды, не изменялись биохимические показатели крови [28, с. 360]. В нашем эксперименте введение вещества в I группе способствовало снижению Ca и P в сыворотке крови. Таким образом, изучение влияния химически чистых веществ, выделенных из лекарственных растений, целесообразнее, чем про-

сто этих растений, так как позволяет учесть более точные изменения химических веществ в организме цыплят-бройлеров.

Выводы: использование ванилиновой кислоты в отдельности или в сочетании с гамма-лактоном способствует увеличению биологической ценности мышечной ткани цыплят-бройлеров в части увеличения ряда незаменимых аминокислот, ненасыщенных жирных кислот и важных макро- и микроэлементов.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследования выполнены в рамках НИР ФНЦ БСТ РАН, проект № 0761-2019-0005.

Библиографический список (References)

1. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity // *Animal Bioscience*. 2021. Vol. 34 (3). Pp. 345–353. DOI: 10.5713/ab.20.0842.
2. Basit M. A., Kadir A. A., Loh T. C. et al. Comparative Efficacy of Selected Phytobiotics with Halquinol and Tetracycline on Gut Morphology, Ileal Digestibility, Cecal Microbiota Composition and Growth Performance in Broiler Chickens // *Animals (Basel)*. 2020. Vol. 10 (11). Article number 2150. DOI: 10.3390/ani10112150.
3. Gilani S. M. H., Rashid Z, Galani S. et al. Growth performance, intestinal histomorphology, gut microflora and ghrelin gene expression analysis of broiler by supplementing natural growth promoters: A nutrigenomics approach // *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021. Vol. 28 (6). Pp. 3438–3447. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.03.008.
4. Iwiński H., Wódcz K., Chodkowska K. et al. In Vitro Evaluation of Antimicrobial Effect of Phytobiotics Mixture on *Salmonella* spp. Isolated from Chicken Broiler [e-resource] // *Antibiotics (Basel)*. 2022. Vol. 11 (7). Article number 868. DOI: 10.3390/antibiotics11070868.
5. Ogbuewu I. P., Okoro V. M., Mbajorgu C. A. Meta-analysis of the influence of phytobiotic (pepper) supplementation in broiler chicken performance // *Tropical Animal Health and Production*. 2020. Vol. 52 (1). Pp. 17–30. DOI: 10.1007/s11250-019-02118-3.
6. Abd El-Hack M. E., El-Saadony M. T., Elbestawy A. R. et al. Hot red pepper powder as a safe alternative to antibiotics in organic poultry feed: an updated review [e-resource] // *Poultry Science*. 2022. Vol. 101 (4). Article number 101684. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101684.
7. Lee A., Dal Pont G. C., Farnell M. B. et al. Supplementing chestnut tannins in the broiler diet mediates a metabolic phenotype of the ceca [e-resource] // *Poultry Science*. 2021. Vol. 100 (1). Pp. 47–54. DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.085.
8. Ali U., Naveed S., Qaisrani S. N. et al. Characteristics of Essential Oils of *Apiaceae* Family: Their Chemical Compositions, *in vitro* Properties and Effects on Broiler Production [e-resource] // *Poultry Science*. 2022. Vol. 59 (1). Pp. 16–37. DOI: 10.2141/jpsa.0210042.

9. Kikusato M., Xue G., Pastor A. et al. Effects of plant-derived isoquinoline alkaloids on growth performance and intestinal function of broiler chickens under heat stress // *Poultry Science*. 2021. Vol. 100 (2). Pp. 957–963. DOI: 10.1016/j.psj.2020.11.050.
10. Aljumaah M. R., Suliman G. M., Abdullatif A. A. et al. Effects of phytobiotic feed additives on growth traits, blood biochemistry, and meat characteristics of broiler chickens exposed to *Salmonella typhimurium* // *Poultry Science*. 2020. Vol. 99 (11). Pp. 5744–5751. DOI: 10.1016/j.psj.2020.07.033.
11. Abdul Basit M., Abdul Kadir A., Loh T.C. et al. Effects of Inclusion of Different Doses of *Persicaria odorata* Leaf Meal (POLM) in Broiler Chicken Feed on Biochemical and Haematological Blood Indicators and Liver Histomorphological Changes [e-resource] // *Animal Bioscience*. 2020. Vol. 10 (7). Article number 1209. DOI: 10.3390/ani10071209.
12. Ripon M. M. R., Rashid M. H., Rahman M. M. et al. Dose-dependent response to phytobiotic supplementation in feed on growth, hematology, intestinal pH, and gut bacterial load in broiler chicken [e-resource] // *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 2019. Vol. 6 (2). Pp. 253–259. DOI: 10.5455/javar.2019.f341.
13. Olukosi O. A., Dono N. D. Modification of digesta pH and intestinal morphology with the use of benzoic acid or phytobiotics and the effects on broiler chicken growth performance and energy and nutrient utilization // *Journal of Animal Science*. 2014. Vol. 92 (9). Pp. 3945–3953. DOI: 10.2527/jas.2013-6368.
14. Ren H., Vahjen W., Dadi T. et al. Effects of Probiotics and Phytobiotics on the Intestinal Microbiota in Young Broiler Chicken // *Microorganisms*. 2019. Vol. 7 (12). Article number 684. DOI: 10.3390/microorganisms7120684.
15. Hussein E. O. S., Ahmed S.H., Abudabos A. M. et al. Effect of Antibiotic, Phytobiotic and Probiotic Supplementation on Growth, Blood Indices and Intestine Health in Broiler Chicks Challenged with *Clostridium perfringens* // *Animals (Basel)*. 2020. Vol. 10 (3). Article number 507. DOI: 10.3390/ani10030507.
16. Ferdous M. F., Arefin M. S., Rahman M. M. et al. Beneficial effects of probiotic and phytobiotic as growth promoter alternative to antibiotic for safe broiler production [e-resource] // *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 2019. Vol. 6 (3). Pp. 409–415. DOI: 10.5455/javar.2019.f361.
17. Duskaev G., Rakhmatullin, S., Kvan O. Effects of bacillus cereus and coumarin on growth performance, blood biochemical parameters, and meat quality in broilers [e-resource] // *Veterinary World*. 2020. Vol. 13 (11). Pp. 2484–2492. DOI: 10.14202/VETWORLD.2020.2484-2492.
18. Tavangar P., Gharahveysi S., Rezaeipour V. et al. Efficacy of phytobiotic and toxin binder feed additives individually or in combination on the growth performance, blood biochemical parameters, intestinal morphology, and microbial population in broiler chickens exposed to aflatoxin B₁ [e-resource] // *Tropical Animal Health and Production*. 2021. Vol. 53 (3). Article number 335. DOI: 10.1007/s11250-021-02778-0.
19. Armanini E. H., Boiago M. M., de Oliveira P. V. et al. Inclusion of a phytogenic bend in broiler diet as a performance enhancer and anti-aflatoxin agent: Impacts on health, performance, and meat quality [e-resource] // *Research in Veterinary Science*. 2021. Vol. 137. Pp. 186–193. DOI: 10.1016/j.rvsc.2021.05.004.
20. Krauze M., Cendrowska-Pinkosz M., Matusevičius P. et al. The Effect of Administration of a Phytobiotic Containing Cinnamon Oil and Citric Acid on the Metabolism, Immunity, and Growth Performance of Broiler Chickens // *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11 (2). Article number 399. DOI: 10.3390/ani11020399.
21. Erdoğan Z., Erdoğan S., Aslantaş Ö. et al. Effects of dietary supplementation of synbiotics and phytobiotics on performance, caecal coliform population and some oxidant/antioxidant parameters of broilers [e-resource] // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2010. Vol. 94 (5). Article number e40-8. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2009.00973.x.
22. Karimov I., Kondrashova K., Duskaev G. et al. Evaluation of effects of rumen fluid in combination with probiotic preparations and vanillin on the luminescence of a recombinant strain *E. coli* // Paper presented at the E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 143. DOI: 10.1051/e3sconf/202014302034.
23. Rempe, C. S.; Burris, K. P.; Lenaghan, S. C. et al. The potential of systems biology to discover antibacterial mechanisms of plant phenolics [e-resource] // *Frontiers in Microbiology*. 2017. Vol. 8. Article number 422. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00422.
24. Pisoschi A. M., Pop A., Georgescu C. et al. An overview of natural antimicrobials role in food // *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2018. Vol. 143. Pp. 922–935. DOI: 10.1016/j.ejmech.2017.11.095.
25. Konkol D., Korzeniowska M., Rózański H. et al. The Use of Selenium Yeast and Phytobiotic in Improving the Quality of Broiler Chicken Meat [e-resource] // *Foods*. 2021. Vol. 10 (11). Article number 2558. DOI: 10.3390/foods10112558.
26. Al-Yasiry A. R. M., Kiczorowska B., Samolińska W. Effect of *Boswellia serrata* Resin Supplementation on Basic Chemical and Mineral Element Composition in the Muscles and Liver of Broiler Chickens // *Biological Trace Element Research*. 2017. Vol. 179 (2). Pp. 294–303. DOI: 10.1007/s12011-017-0966-6.
27. Zając M., Kiczorowska B., Samolińska W. et al. Supplementation of Broiler Chicken Feed Mixtures with Micronised Oilseeds and the Effects on Nutrient Contents and Mineral Profiles of Meat and Some Organs, Carcass

Composition Parameters, and Health Status // *Animals* (Basel). 2022. Vol. 12 (13). Article number 1623. DOI: 10.3390/ani12131623.

28. Adaszynska-Skwirzynska M, Szczerbinska D. The effect of lavender (*Lavandula angustifolia*) essential oil as a drinking water supplement on the production performance, blood biochemical parameters, and ileal microflora in broiler chickens // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98 (1). Pp. 358–365. DOI: 10.3382/ps/pey385.

Об авторах:

Галимжан Калиханович Дускаев¹, доктор биологических наук, первый заместитель директора, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-9015-8367, AuthorID 316084; +7 922 829-19-76, gduskaev@mail.ru

Марина Яковлевна Курилкина¹, кандидат биологических наук, научный сотрудник, ORCID 0000-0003-0253-7867, AuthorID 623232; +7 951 036-68-88, K_marina4@mail.ru

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

The effect of phytomaterials on the biochemical composition of the muscle tissue of broiler chickens

G. K. Duskaev[✉], M. Ya. Kurilkina¹

¹ Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

[✉]E-mail: gduskaev@mail.ru

Abstract. The aim of the study is to evaluate the effect of phytobiotics on the biochemical composition of the muscle tissue of broiler chickens. **Research methods:** atomic emission spectrometry, capillary electrophoresis, gas chromatography. **Scientific novelty.** The influence of phytomaterials (gamma-octalactone, vanillic acid) on the biochemical composition of the muscle tissue of broiler chickens was evaluated for the first time. Results: biochemical composition of muscle tissue the composition was characterized by a lower content of amino acids: tyrosine (pectoral muscles), lysine, threonine, alanine, leucine + soleucine (femoral muscles) in group II ($P < 0.05$) and a high content of valine and histidine (pectoral muscles) in group I ($P < 0.05$), according to compared to the control. There was also an increase in the concentration of fatty acids in the pectoral muscle ($P < 0.05$): myristic and arachin (I and II), stearic (III), linoleic (II and III) and a decrease in palmitic (III) and palmitoleic (II and III). An increase in the concentration of myristic (III group, $P < 0.05$), oleic (II group, $P < 0.05$) fatty acids was found in the thigh muscles. In group I broiler chickens, the concentration of macronutrients (Ca, P, K, Na) and trace elements (B, Fe) in the pectoral muscle decreased ($P \leq 0.05$). In group II, an increase was found ($P \leq 0.05$) – Ca, Co, Mn, Zn, in group III – Fe ($P \leq 0.05$). In the thigh muscle tissue of group I, the concentrations of macronutrients – K, Mg decreased ($P \leq 0.05$) and increased ($P \leq 0.05$) Na, Ca, B, Cu, Ni, I, Zn. In II, there was an increase in the content of B ($P < 0.05$), and in III, on the contrary, a decrease ($P \leq 0.05$) in Ca and K. Thus, the use of vanillin acid alone or in combination with gamma-lactone contributes to the biological value of the muscle tissue of broiler chickens in terms of increasing the amount of essential amino acids, unsaturated fatty acids and important macro- and microelements.

Keywords: phytomaterials, vanillic acid, gamma lactone, muscle tissue, broiler chickens.

For citation: Duskaev G. K., Kurilkina M. Ya. Vliyanie fitoveshchestv na biokhimicheskiy sostav myshechnoy tkani tsyplyat-broylerov [The effect of phytomaterials on the biochemical composition of the muscle tissue of broiler chickens] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022. Special issue “Biology and biotechnologies”. Pp. 9–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-9-20. (In Russian.)

Date of paper submission: 05.10.2022, **date of review:** 28.10.2022, **date of acceptance:** 15.11.2022.

Authors' information:

Galimzhan K. Duskaev¹, doctor of biological sciences, first deputy director, leading researcher, ORCID 0000-0002-9015-8367, AuthorID 316084; +7 922 829-19-76, gduskaev@mail.ru

Marina Ya. Kurilkina¹, candidate of biological sciences, researcher, ORCID 0000-0003-0253-7867, AuthorID 623232; +7 951 036-68-88, K_marina4@mail.ru

¹ Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Технологические аспекты применения продуктов переработки семян конопли в рецептуре обогащенных кексов

С. П. Меренкова^{1✉}, О. В. Зинина¹, О. П. Неверова²

¹ Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: merenkovasp@susu.ru

Аннотация. В связи с высоким спросом на кондитерские изделия актуальной является разработка данной продукции, обогащенной функциональными пищевыми ингредиентами, в том числе пищевыми волокнами. **Новизна** работы заключается в использовании в производстве кондитерских изделий нетрадиционных видов растительного сырья – конопляной муки и клетчатки – и разработке оптимальных условий применения данных ингредиентов в производстве продукции. **Цель исследования** – разработка экспериментально обоснованной технологии кексов, обогащенных нутриентами и пищевыми волокнами, содержащимися в цельносмолотой конопляной муке и клетчатке. **Методы исследований.** В опытных образцах кексов определяли органолептические и физико-химические показатели по общепринятым методикам; реологические показатели – на структурометре; антиоксидантную активность – методом DPPH; анализ пищевой ценности – расчетным методом. **Результаты.** Установлено, что оптимальными физико-химическими показателями характеризовались образцы изделий с добавлением 20 % конопляной муки и 7 % пищевой клетчатки. В данных образцах установлена наименьшая влажность и щелочность. Для всех образцов, содержащих конопляную муку, установлено возрастание массовой доли влаги (до 17 %) и плотности изделий (до 0,66). Наиболее высокая устойчивость формы установлена для образцов кекса № 1 и № 2 – 0,652 и 0,601 соответственно, что на 2,9 % и на 1,6 % соответственно выше по сравнению с контрольными образцами. Внешение конопляной муки и клетчатки в рецептуру кекса позволило увеличить антирадикальную активность готовых изделий на 28,8–49,1 %, причем при совместном использовании 20 % конопляной муки и 7 % клетчатки наблюдалась наиболее высокая активность DPPH. Таким образом, использование конопляной муки и клетчатки в рецептуре кексов позволяет улучшать антиоксидантные свойства кондитерских изделий, а также повышать содержание белка, микронутриентов и пищевых волокон.

Ключевые слова: кондитерское изделие, конопляная мука, пищевые волокна, функциональный пищевой ингредиент, антиоксидантная активность.

Для цитирования: Меренкова С. П., Зинина О. В., Неверова О. П. Технологические аспекты применения продуктов переработки семян конопли в рецептуре обогащенных кексов // Аграрный вестник Урала. 2022. Спецвыпуск «Биология и биотехнологии». С. 21–32. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-21-32.

Дата поступления статьи: 24.11.2022, **дата рецензирования:** 05.12.2022, **дата принятия:** 12.12.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Одним из направлений Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года является ликвидация микронутриентной недостаточности у всех слоев населения и организация рационального питания. В связи с этим приоритетной задачей развития пищевой промышленности является совершенствование технологий производства продуктов здорового питания, в том числе обогащенных функциональными компонентами, с заданными параметрами качества [1].

Кондитерские изделия представляют собой группу высококалорийных легкоусвояемых пищевых продуктов с большим содержанием сахара, отличающихся приятным вкусом и ароматом. Высокая пищевая ценность мучных кондитерских изделий, содержащих значительное количество углеводов и жиров, обуславливается, прежде всего, пищевой ценностью используемого сырья. Преобразования на рынке кондитерских товаров в значительной степени изменили традиционные подходы к этой группе продуктов; наметилась тенденция увеличе-

ния спроса на изделия обогащенные и с функциональными свойствами. Применение натурального растительного сырья – перспективное направление создания сбалансированных по нутриентам наименований продуктов, а пищевые волокна являются одним из наиболее значимых функциональных ингредиентов [2].

Высокой пищевой ценностью обладают семена конопли: они богаты протеиногенными аминокислотами, омега-3 и омега-6 жирными кислотами, витаминами А, D, Е и группы В, микроэлементами, пищевыми волокнами [3]. В настоящее время промышленные сорта конопли, включенные в Государственный реестр селекционных достижений, культивируются и выращиваются для коммерческих целей в различных регионах, а в условиях Южного Урала данная культура характеризуется высокой урожайностью и устойчивостью к климатическим факторам. Хотя химический состав семян конопли в значительной степени варьируется у разных сортов, в среднем конопляное семя содержит 25–30 % масла, 20–30 % белка, 30–40 % клетчатки, а также значительные количества эссенциальных компонентов, антиоксидантных соединений, включая токоферолы, стерины и полифенолы, которые обладают перечнем положительных физиологических эффектов [4].

Продукты переработки семян конопли характеризуются высокой концентрацией минеральных компонентов, таких как фосфор, калий, натрий, магний, сера, кальций, железо и цинк, а также богаты витамином Е, содержание которого достигает 90 мг/100 г [5]. Получаемая из жмыха конопли высокобелковая мука содержит около 30 % белка, характеризующегося сбалансированным составом аминокислот, до 20 % нерастворимой и водорастворимой клетчатки, отличается богатым витаминным составом, нулевым гликемическим индексом [6; 7]. В научных публикациях отмечено сбалансированное содержание незаменимых полиненасыщенных жирных кислот в семенах конопли – линолевой и альфа-линоленовой кислоты от 2:1 до 3:1. Исследования жирнокислотного состава конопляного масла показали содержание линоленовой кислоты до 17,8 % [8]. Кроме того, биологически активные фитоконпоненты – β-ситостерин, терпены и метилсалицилат – обуславливают противоэпилептические, антимикробные, противовоспалительные и цитопротекторные свойства [9]. Однако следует учитывать, что у семян разных сортов конопли может широко варьировать как химический состав в целом, так и содержание отдельных физиологически ценных компонентов [8].

При переработке конопли образуется широкий ассортимент пищевых ингредиентов, у каждого из которых уникальный химический состав и свойства, предопределяющие технологические направ-

ления использования. Так, из семян конопли возможно получение не только традиционной муки и масла, но и белковых добавок в виде изолятов, а также клетчатки, являющейся источником функциональных пищевых ингредиентов – пищевых волокон [10].

Установлено, что применение конопляной муки и клетчатки в технологии продуктов питания перспективно в связи с доказанными функционально-технологическими свойствами компонента, высокой водосвязывающей, жиросвязывающей, гелеобразующей способностью [11–13]. В многочисленных исследованиях отмечена структурообразующая и пенообразующая способность пищевых волокон, возможность их применения в рецептуре изделий при замещении жировых компонентов и сахара [14].

Клетчатка улучшает работу кишечника, нормализует вес, очищает кишечник от шлаков и токсинов, снижает риск возникновения ряда заболеваний, таких как сахарный диабет, хроническая усталость, хронический гастрит, аллергии, сердечно-сосудистые заболевания, онкология, желчнокаменная болезнь и другие [6]. Конопляная клетчатка обладает высокой биологической ценностью, является источником минеральных компонентов – Mg, Si, Mn, P, Ca [15; 16]. С учетом перспективности направлений переработки растительного сырья, основанных на ресурсосбережении и глубокой переработке, получение конопляной клетчатки и ее активное вовлечение в производство хлебобулочных и кондитерских изделий оправдано.

Целью исследований является разработка экспериментально обоснованной технологии кексов, обогащенных нутриентами и пищевыми волокнами, содержащимися в цельносмолотой конопляной муке и клетчатке.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектами исследования являлись образцы кексов типа «Столичный». Контрольные образцы были изготовлены по унифицированной рецептуре. В опытных образцах меняли пшеничную муку на цельносмолотую муку из семян конопли (сорт Надежда ТМ Konoplektika) и конопляную клетчатку (ТМ Konoplektika). Были изготовлены следующие образцы кексов:

- контрольный образец – кексы, изготовленные согласно унифицированной рецептуре;
- образец № 1 – кексы, изготовленные с добавлением конопляной муки в количестве 30 % и клетчатки в количестве 7 % взамен соответствующего количества пшеничной муки и масла сливочного;
- образец № 2 – кексы, изготовленные с добавлением конопляной муки в количестве 20 % и клетчатки в количестве 7 % взамен соответствующего количества пшеничной муки и масла сливочного;

– образец № 3 – кексы, приготовленные с добавлением конопляной муки в количестве 30 % от общей массы пшеничной муки.

Качество кексов определяли по органолептическим и физико-химическим показателям (массовая доля влаги, щелочность, плотность и пористость). Дегустационную оценку экспериментальных образцов кекса осуществляли по следующим показателям: цвет и состояние поверхности; форма; вид в изломе; вкус и запах, консистенция – с применением 5-балльной шкалы.

Анализ физико-химических показателей проводили по общепринятым методикам. Содержание влаги в кексах определяли по ГОСТ 5900, щелочность – по ГОСТ 5898, плотность – по ГОСТ 15810. Формоустойчивость образцов кекса определяли в свежеспеченных изделиях после охлаждения в течение 4 часов.

Исследования реологических (структурно-механических) показателей контрольного и опытных образцов проводили на структуромере «СТ-2» путем сжатия его индентором «Цилиндр Ø36», определяя общую, пластическую и упругую деформацию. Определение значений показателей деформации осуществляли путем математической обработки экспоненциальной кривой релаксации механических напряжений, возникающих на цилиндрическом инденторе при его внедрении в продукт при следующем режиме нагружения: усилие касания $F_k = 7$ г; скорость деформации $V_d = 0,5$ мм/с; внедрение индентора в пробу продукта проводили до усилия $F_{max} = 500$ г.

Определение общей антиоксидантной активности проводилось с помощью метода DPPH (%) по модификации. DPPH – свободный радикал дифенилпикрилгидразил, который восстанавливается в реакции с антиоксидантами. Образцы предварительно экстрагировали в метанольном растворе. Использовался метанольный раствор DPPH 60 мкМ, 1 мл которого смешивали с 1 мл исследуемого раствора, инкубировали в темноте в течение 30 мин. Светопоглощение измеряли спектрофотометрически при 515 нм.

Для анализа пищевой ценности экспериментальных образцов кексов в соответствии с составленными рецептурами, определили количество входящих в их состав сырьевых компонентов. Затем рассчитали содержание пищевых веществ в каждом компоненте. Далее произвели расчет общего содержания каждого пищевого вещества в смеси сырьевых компонентов с учетом возможных потерь при производстве путем умножения массы каждого нутриента на коэффициент, равный 0,7. В соответствии с нормами потребления пищевых веществ, указанных в МР 2.3.1.0253-21, определили степень удовлетворения суточной потребности человека в

имеющихся нутриентах при потреблении порции 60 г готовых изделий.

Результаты (Results)

При создании обогащенных мучных кондитерских изделий необходимо целенаправленное изменение их рецептурного состава с учетом требований норм рационального питания к содержанию макро- и микронутриентов при соответствии органолептических показателей, свойств и структуры потребительским ожиданиям. С учетом содержания эссенциальных нутриентов в цельносмолотой муке из семян конопли и конопляной клетчатки, принимая во внимание среднесуточные потребности взрослого человека в белке, пищевых волокнах, витаминах микроэлементах, разработаны рецептуры обогащенных кексов, содержащие от 20 до 30 % конопляной муки и 7 % конопляной клетчатки. В качестве основной была выбрана унифицированная рецептура кекса «Столичный». Обогащающими компонентами заменяли часть муки пшеничной и масло сливочное в рецептурах согласно технологическому расчету с учетом водопоглощающих свойств муки.

При выполнении экспериментальных исследований разработана технологическая схема производства кексов обогащенных, содержащих муку и клетчатку конопляную. Основные этапы производственного процесса:

- приготовление гомогенной рецептурной смеси, которая состоит из сыпучих компонентов (муки пшеничной, соли, сахара, разрыхлителя) в рассчитанных соотношениях;
- взбивание сливочного масла в миксере при 400 об/мин в течение 7–10 минут до получения пышной однородной структуры;
- получение эмульсии на основе конопляной муки и клетчатки, молока и меланжа в гомогенизаторе при скорости 1800 об/с в течение 3–5 минут. Благодаря жировой фракции цельносмолотой муки, а также компонентам молока и яйцепродуктов, обладающих эмульгирующими свойствами, при гомогенизации получается однородная устойчивая тонко диспергированная система;
- замес теста в течение 10 минут при 150 об/мин до получения сильновязкой однородной массы влажностью 23–25 %;
- формование тестовых заготовок массой около 70 г в формы;
- выпекание изделий при температуре 180 °С 15–20 минут.

Органолептические показатели образцов кексов определяли визуально при рассеянном дневном освещении в следующей последовательности: вкус, запах, форма, цвет, вид в изломе. Дегустационной комиссией была проведена дегустационная оценка образцов по 5-балльной шкале (рис. 1, 2).

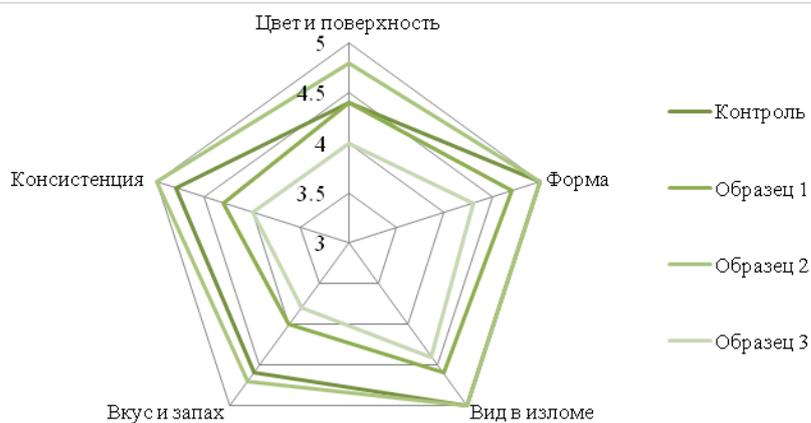


Рис. 1. Результаты дегустационной оценки образцов кекса

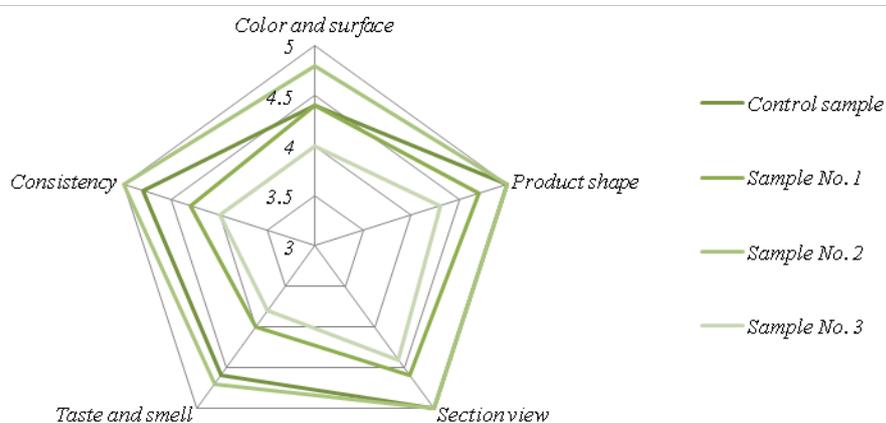


Fig. 1. Results of the degustation of cupcake samples



Контроль
Control sample



Образец 1
Sample No. 1



Образец 2
Sample No. 2



Образец 3
Sample No. 3

Рис. 2. Внешний вид образцов кекса
Fig. 2. Appearance of cupcake samples

Таблица 1

Результаты исследований физико-химических показателей образцов кекса

Показатели	Требования ГОСТ 15052	Результаты для образцов			
		Контроль	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Влажность, %	12,0–24,0	12,01 ± 0,30	17,09 ± 0,55	16,56 ± 0,45	16,86 ± 0,40
Щелочность, град.	Не более 2,0	0,94 ± 0,06	0,94 ± 0,08	0,92 ± 0,06	0,82 ± 0,05
Плотность	Не более 0,65	0,54 ± 0,03	0,66 ± 0,02	0,60 ± 0,02	0,65 ± 0,03
Формоустойчивость	Не нормируется	0,584 ± 0,02	0,601 ± 0,03	0,652 ± 0,05	0,511 ± 0,02

Table 1

Results of studies of physical and chemical parameters of cupcake samples

Indicators	Requirements of GOST 15052	Results for samples			
		Control sample	Sample No. 1	Sample No. 2	Sample No. 3
Humidity, %	12.0–24.0	12.01 ± 0.30	17.09 ± 0.55	16.56 ± 0.45	16.86 ± 0.40
Alkalinity, degrees	Not more than 2.0	0.94 ± 0.06	0.94 ± 0.08	0.92 ± 0.06	0.82 ± 0.05
Density	Not more than 0.65	0.54 ± 0.03	0.66 ± 0.02	0.60 ± 0.02	0.65 ± 0.03
Form stability	No requirements	0.584 ± 0.02	0.601 ± 0.03	0.652 ± 0.05	0.511 ± 0.02

Таблица 2

Результаты исследований деформационных характеристик образцов кекса

Наименование образца	Значение показателя			
	Общая деформация, $H_{обш}$, мм	Пластическая деформация, $H_{пл}$, мм	Упругая деформация, $H_{упр}$, мм	Модуль упругости Δh
Контрольный образец	5,86 ± 0,02	2,18 ± 0,01	3,68 ± 0,01	0,372
Образец 1	7,55 ± 0,14	3,32 ± 0,07	4,22 ± 0,01	0,440
Образец 2	7,28 ± 0,20	3,04 ± 0,12	4,24 ± 0,04	0,417
Образец 3	6,01 ± 0,04	2,57 ± 0,02	3,44 ± 0,07	0,427

Table 2

Results of studies of deformation characteristics of cupcake samples

Samples	The value of the indicator			
	Total deformation, H_{tot} , мм	Plastic deformation, H_{pl} , мм	Elastic deformation, H_{el} , мм	Modulus of elasticity Δh
Control sample	5,86 ± 0,02	2,18 ± 0,01	3,68 ± 0,01	0,372
Sample No. 1	7,55 ± 0,14	3,32 ± 0,07	4,22 ± 0,01	0,440
Sample No. 2	7,28 ± 0,20	3,04 ± 0,12	4,24 ± 0,04	0,417
Sample No. 3	6,01 ± 0,04	2,57 ± 0,02	3,44 ± 0,07	0,427

Кексы характеризовались желто-коричневым цветом с мелкими вкраплениями; умеренно сладким сливочным вкусом и запахом с легким травянистым оттенком; правильной не расплывчатой формой; слегка выпуклой поверхностью с характерными трещинами, без пустот; на изломе изделия пропеченные, с равномерной пористостью. Наилучшими сенсорными показателями обладал экспериментальный образец № 2 с содержанием 20 % конопляной муки и 7 % клетчатки. Образец кекса № 3 отличался выраженным изменением цвета, появлением характерного конопляного запаха и привкуса, слабым подъемом. Контрольный образец и образец № 2 отмечены как изделия с отличным уровнем органолептических свойств. В исследованиях других авторов установлено аналогичное влияние компонентов переработки конопли на органолептические свойства хлебобулочных изделий: специфические вкус

и запах становятся более ощутимыми, а цвет мякши и корки более темными при увеличении количества вводимых продуктов переработки конопли [9].

Физико-химические и реологические свойства вносят существенный вклад при оценке потребительской приемлемости кондитерских изделий. Установлено, что внесение в рецептуру обогащающих компонентов не вызывает отклонений в физико-химических показателях готовых образцов. Наиболее оптимальными значениями плотности и формоустойчивости отличался образец № 2. Для всех мучных изделий, содержащих конопляную муку, установлено возрастание массовой доли влаги (до 17 %) и плотности изделий (до 0,66). Полученные результаты обусловлены снижением соотношения сливочного масла в рецептуре и введением молока пастеризованного, а также высокой водопоглотительной способностью муки и клетчатки конопляной (таблица 1).

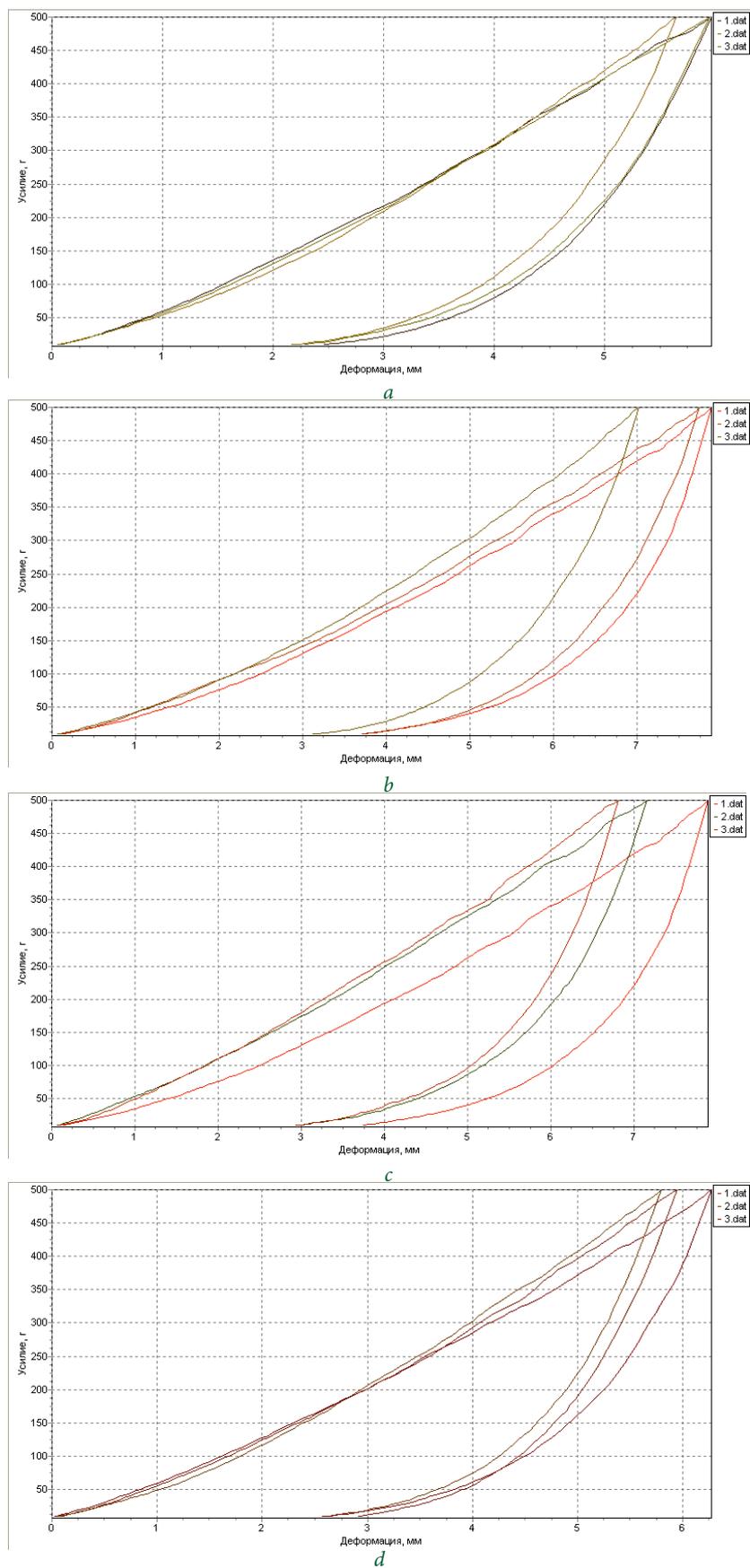


Рис. 3. Характерный вид деформационных кривых:
 а) контроль; б) образец 1; в) образец 2; г) образец 3

Fig. 3. Characteristic view of deformation curves:
 a) Control sample; b) Sample No. 1; c) Sample No. 2; d) Sample No. 3

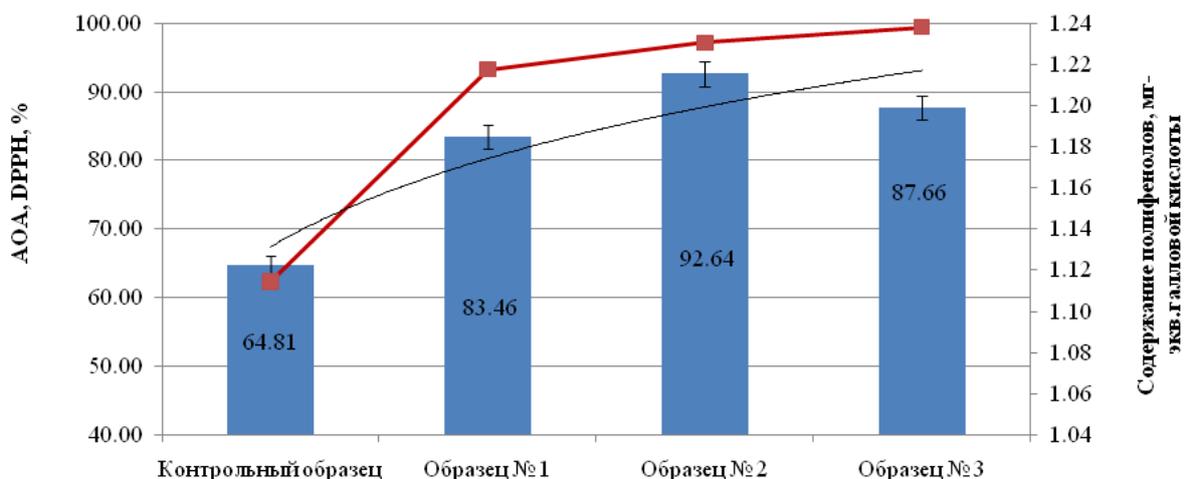


Рис. 4. Результаты анализа антиоксидантной активности образцов кексов

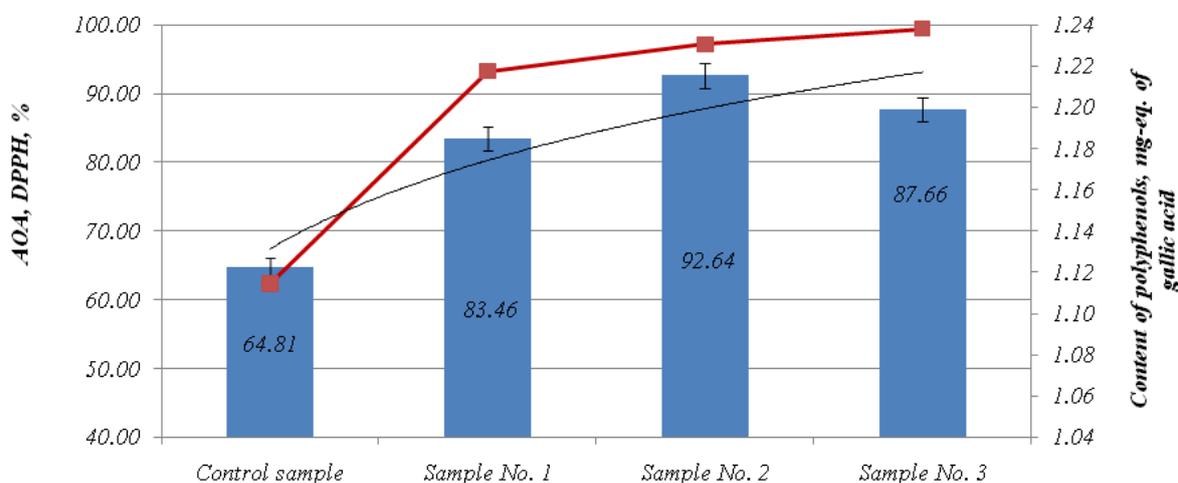


Fig. 4. Results of the analysis of the antioxidant activity of cupcake samples

На основании результатов реологических исследований установлена зависимость между значениями общей и пластической деформации и концентрацией вносимых добавок. Образцы кексов обладают упруго-пластичными свойствами. Пищевые волокна, обладая высокой гидрофильностью, прочно удерживают молекулы воды, обуславливая оптимальные структурно-механические свойства готовых кондитерских изделий. При этом внесение конопляной муки и клетчатки повышает упругость кексов, наибольший модуль упругости наблюдали в образце 1 (таблица 2, рис. 3).

Внесение конопляной муки и клетчатки в рецептуру кекса «Столичного» позволило увеличить антиоксидантную активность готовых изделий на 28,8–49,1 %, причем в образце № 2, при совместном использовании 20 % конопляной муки и 7 % клетчатки наблюдалась наиболее высокая активность DPPH. Высокая антиоксидантная активность экспериментальных образцов мучных кондитерских изделий коррелировала со значительной концентрацией полифенольных соединений, количество которых при определении спектрофотометрическим

методом составило от 1,21 до 1,23 мг-экв галловой кислоты. Это позволяет сделать вывод об эффективности использования конопляной муки и клетчатки для улучшения антиоксидантных свойств продуктов (рис. 4).

Природные антиоксиданты, такие как полифенолы, это натуральные растительные соединения, обладающие выраженными фармакологическими свойствами, – противовоспалительными, онкопротекторными, иммуномодулирующими. В многочисленных исследованиях доказаны антиоксидантные свойства компонентов, содержащихся в семенах конопли [17]. В частности, установлено, что продукты переработки семян конопли содержат значительное количество полифенольных соединений, главным образом в виде флаванонов, флаванолов, изофлавонов и фенольных кислот (протокатехиновая, гидроксибензойная и коричная) [4]. Фенольные соединения играют важную роль в стабильности, приемлемости и пищевой ценности продукта и предотвращают ухудшение качества продуктов, задерживая радикальные реакции, ответственные за окисление липидов при хранении и воздействии

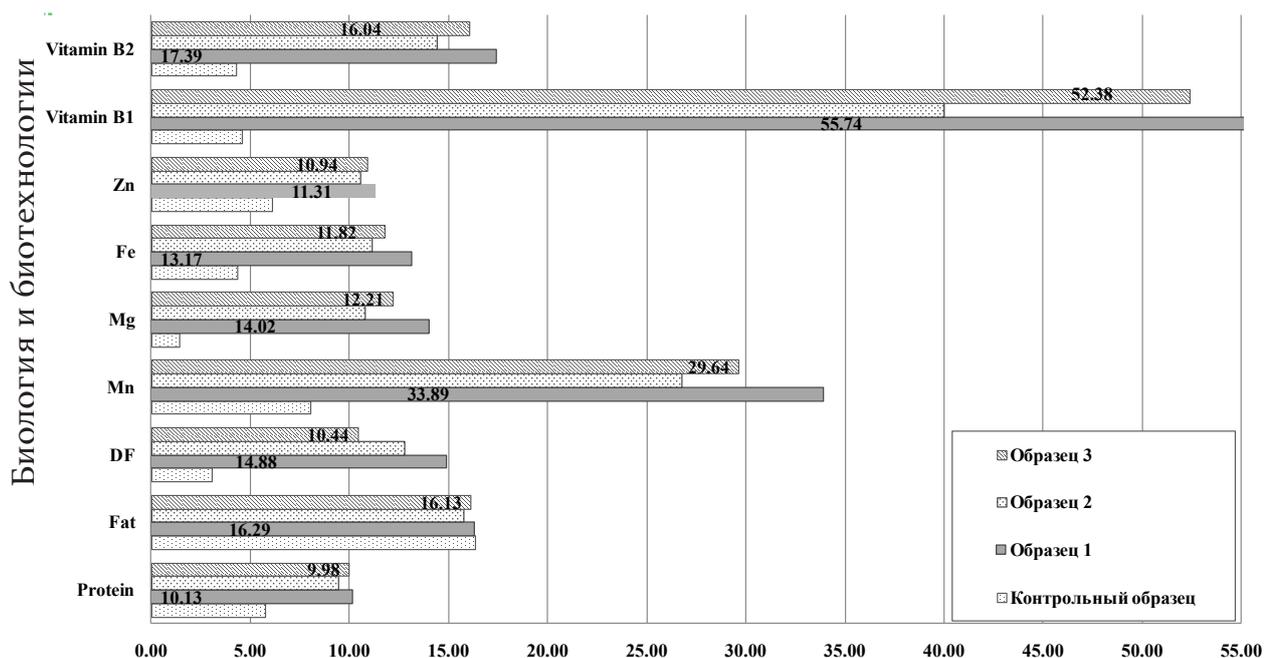


Рис. 5. Степень удовлетворения суточной потребности при употреблении порции продукта массой 60 г

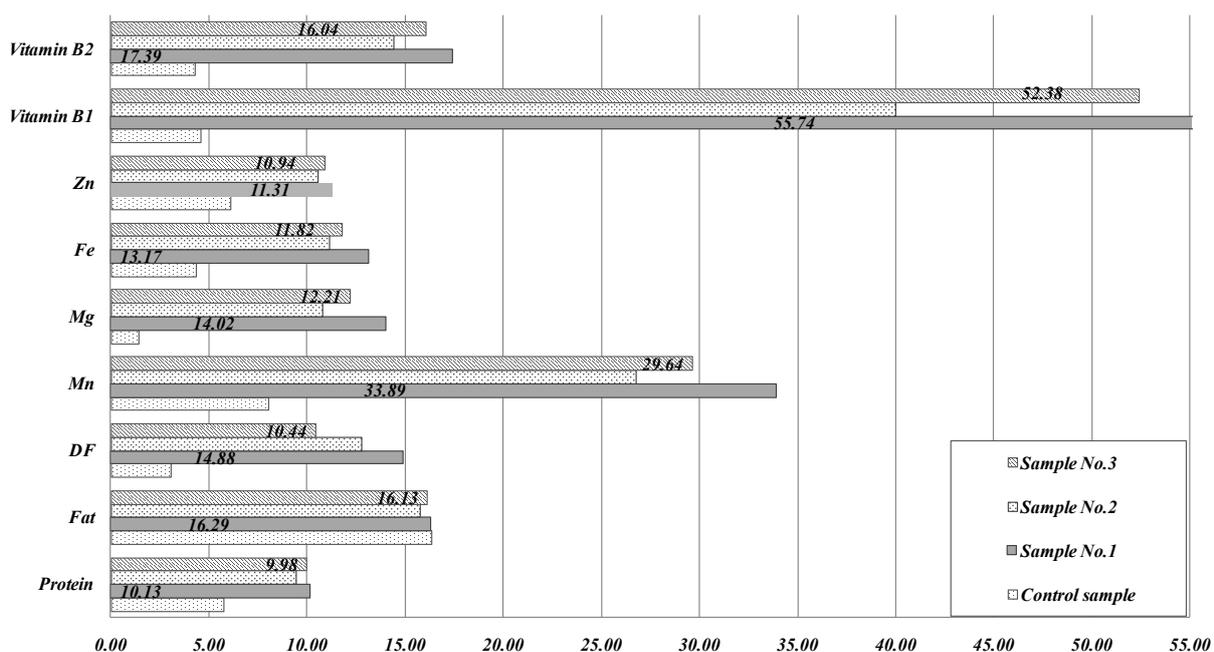


Fig. 5. The degree of satisfaction of the daily requirement when consuming a portion of the product (60 g of cupcake)

внешних факторов [18]. Доказана значительная корреляция между концентрацией полифенолов и антиоксидантной активностью [19], причем отмечено, что антиоксидантный потенциал конопляной муки и семян выше, чем конопляного масла. Также подтвержден высокий антиоксидантный потенциал конопли (по результатам определения показателей DPPH и FRAP) благодаря составу фенолов [7].

В результате анализа пищевой ценности обосновано высокое содержание белка, микронутриентов и пищевых волокон в экспериментальных образцах кексов. Внесение конопляной клетчатки и коно-

пляной муки существенно увеличило содержание белка – на 47,0–52,4 %, пищевых волокон – в 3,2–4,6 раза; тиамин – в 14,5–15 раз, рибофлавин – в 3,7 раза. Использование продуктов переработки семян конопли в рецептуре кекса «Столичный» позволяет удовлетворить суточную потребность в пищевых волокнах – на 16,0–18,6 %; в витамине В₁ и В₂ – на 46,0–72,2 % и на 16,6–20,3 %; в железе и магнии – на 21,08 и на 17,8 % соответственно при употреблении порции продукта 60 г. Экспериментальные образцы кекса характеризуются пониженной калорийностью (на 13,7 %) по сравнению

с контрольным образцом. Данная закономерность обусловлена сокращением в рецептуре содержания масла сливочного и сахара при внесении муки конопляной и клетчатки (рис. 5).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе выполнения работы предложен алгоритм технологических этапов производства обогащенных кексов на основе продуктов переработки семян конопли с обоснованными параметрами процессов. Применение дополнительного этапа – эмульгирование конопляной муки и клетчатки с водной фазой – позволяет сформировать устойчивую структуру полуфабриката и приемлемые реологические свойства готовых кондитерских изделий.

Отмечено, что оптимальными значениями физико-химических показателей характеризовались образцы изделий с добавлением 20 % конопляной муки и 7 % пищевой клетчатки. В данных образцах установлена наименьшая влажность, плотность и щелочность. Для всех мучных изделий, содержа-

щих конопляную муку, установлено возрастание массовой доли влаги (до 17 %) и плотности изделий (до 0,66). Полученные результаты могут быть объяснены снижением соотношения сливочного масла в рецептуре и введением молока пастеризованного, а также высокой водопоглощательной способностью муки конопляной и клетчатки конопляной. Наиболее высокая устойчивость формы установлена для образцов кекса № 1 и № 2 – 0,652 и 0,601 соответственно, что на 2,9 % и на 1,6 % выше по сравнению с контрольными образцами.

Использование конопляной муки и клетчатки в рецептуре кексов позволяет улучшать антиоксидантные свойства кондитерских изделий, а также повышать содержание белка, микронутриентов и пищевых волокон. Однако необходимо учитывать количество вносимых компонентов переработки конопли, так как они существенно влияют на органолептические показатели готовой продукции.

Библиографический список

1. Стратегия формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период до 2025 года: Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 15 января 2020 года N 8 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564215449> (дата обращения: 25.05.2022).
2. Дерканосова Н. М., Курчаева Е. Е., Королькова Н. В., Глотова И. А. Разработка и использование композитных смесей в производстве мучных кондитерских изделий // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы IX международного конгресса. Т. 2. Москва, 2017. С. 268–270.
3. Callaway J. C. Hempseed as a nutritional resource: An overview // *Euphytica*. 2004. No. 140 (582). Pp. 65–72. DOI: 10.1007/s10681-004-4811-6.
4. Calzolari D., Rocchetti G., Lucini L., Amaducci S. The variety, terroir, and harvest types affect the yield and the phenolic and sterolic profiles of hemp seed oil // *Food Research International*. 2021. No. 142. Article number 110212. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110212.
5. Rusu I. E., Marc R. A., Mureşan C. C. Hemp (*Cannabis sativa* L.) flour-based wheat bread as fortified bakery product // *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 8. DOI: 10.3390/plants10081558.
6. Ertaş N., Aslan M. Antioxidant and physicochemical properties of cookies containing raw and roasted hemp flour // *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*. 2020. No. 19 (2). Pp. 177–184. DOI: 10.17306/J.AFS.2020.0795.
7. Calzolari D., Rocchetti G., Lucini L., Amaducci S. The variety, terroir, and harvest types affect the yield and the phenolic and sterolic profiles of hemp seed oil // *Food Research International*. 2021. Vol. 142. Article number 110212. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110212.
8. Байбеков Р. Ф., Белопухов С. Л., Дмитриевская И. И., Дмитриев Л. Б. Сравнительная характеристика состава жирных кислот в липидах масел из семян технических культур // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 6. С. 62–65. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10615.
9. Васильев А. С. Разработка рецептуры и оценка качества пшеничного хлеба с добавлением льняной и конопляной муки // *Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции*. Красноярск, 2021. С. 263–266.
10. Аль-Сухайми С. А., Тошев А. Д., Андросова Н. В. Исследование качественных показателей хлебобулочных изделий функциональной направленности с добавлением продуктов переработки растительного сырья // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 8. С. 180–186. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-180-186.
11. Захарова Л. М., Абушахманова Л. В. Функционально-технологические свойства клетчатки // *Вестник ВСГУТУ*. 2018. № 3 (70). С. 60–66.
12. Малетина В.С., Тимошенкова И.А. Исследование технологических свойств конопляной муки // *Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием*. Санкт-Петербург, 2017. С. 60–62.

13. Мысаков Д. С. Исследование показателей качества мучного кондитерского изделия из смеси конопляной муки и муки из грецкого ореха // Исследования и разработки молодых ученых в решении актуальных проблем XXI века: сборник научных статей. Екатеринбург, 2017. С. 77–83.
14. Лилишенцева А. Н., Мельникова Л. А., Томашевич С. Е., Селиванова М. С., Мельник Ю. А. Использование QFD-методологии при разработке обогащенного зефира // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2019. Т. 12. № 1 (43). С. 28–41.
15. Тырсова А. В., Надысева А. Г. Использование клетчатки конопляной для обогащения блюд и повышения их пищевой и биологической ценности // Конкурентоспособность территорий: материалы XXI Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. Екатеринбург, 2018. С. 101–103.
16. Мацейчик И. В., Корпачева С. М., Мунтян В. В. Разработка технологий и рецептур мучных кондитерских изделий, обогащенных пищевыми волокнами // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2018. № 1 (50). С. 103–108.
17. Frassinetti S., Moccia E., Caltavuturo L. Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts // Food Chemistry. 2018. Vol. 262. Pp. 56–66.
18. Babiker E. E., Uslu N., Al Juhaimi F., Mohamed Ahmed I. M., Ghafoor K., Özcan M., Almusallam I. A. Effect of roasting on antioxidative properties, polyphenol profile and fatty acids composition of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds // LWT. 2021. Vol. 139. Article number 110537. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110537.
19. Leonard W., Zhang P., Ying D., Fang Z. Hempseed in food industry: nutritional value, health benefits, and industrial applications // Comprehensive reviews in food science and food safety. 2020. Vol. 19. No. 1. Pp. 282–308. DOI: 10.1111/1541-4337.12517.

Об авторах:

Светлана Павловна Меренкова¹, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», ORCID 0000-0002-8795-1065, AuthorID 668876; +7 951 813-70-62, merenkovasp@susu.ru

Оксана Владимировна Зинина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624; +7 906 871-36-81, zininaov@susu.ru

Ольга Петровна Неверова², кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632; +7 912 634-94-62, opneverova@mail.ru

¹ Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Technological aspects of the use of hemp seed processing products in the formulation of enriched cupcakes

S. P. Merenkova¹✉, O. V. Zinina¹, O. P. Neverova²

¹ South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: merenkovasp@susu.ru

Abstract. Due to the high demand for confectionery products, the development of these products enriched with functional food ingredients, including dietary fibers, is relevant. **The novelty** of the work lies in the use of non-traditional types of plant raw materials in the production of confectionery products – hemp flour and fiber, and the development of optimal conditions for the use of the ingredients in the production of products. **The purpose** of the research was to develop an experimentally based technology of cupcakes enriched with nutrients and dietary fibers contained in whole-ground hemp flour and fiber, as well as a comprehensive analysis of the properties of the developed confectionery products. **Methods.** In the experimental samples of cupcakes organoleptic, and physical and chemical indicators were determined, according to generally accepted methods; rheological indicators were determined on a structurometer; antioxidant activity by DPPH method; nutritional value – by calculation method. **Results.** It was found that samples with the addition of 20 % hemp flour and 7 % dietary fiber were characterized by optimal physical and chemical parameters. The lowest humidity, and alkalinity were found in the experimental samples. For all samples containing hemp flour, an increase in the mass fraction of moisture (up to 17 %) and the density of products (up to 0.66) was found. The highest form stability was established for samples No. 1 and No. 2 – 0.652 and 0.601 respectively, which is 2.9–11.6 % higher compared to control samples. The introduction

of hemp flour and fiber into the cupcakes formulation allowed to increase the antioxidant activity of the final product by 28.8–49.1 %. When the combination of the 20 % hemp flour and the 7 % fiber was used, the highest DPPH activity was observed. Thus, the use of hemp flour and fiber in the formulation of enriched cupcakes makes it possible to improve the antioxidant properties of confectionery products, as well as increase the content of protein, micronutrients and dietary fiber.

Keywords: confectionery product, hemp flour, dietary fiber, functional food ingredient, antioxidant activity.

For citation: Merenkova S. P., Zinina O. V., Neverova O. P. Tekhnologicheskie aspekty primeneniya produktov pererabotki semyan konopli v retsepture obogashchennykh keksov [Technological aspects of the use of hemp seed processing products in the formulation of enriched cupcakes] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue "Biology and biotechnologies". Pp. 21–32. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-21-32. (In Russian.)

Date of paper submission: 24.11.2022, **date of review:** 05.12.2022, **date of acceptance:** 12.12.2022.

References

1. Strategiya formirovaniya zdorovogo obraza zhizni naseleniya, profilaktiki i kontrolya neinfektsionnykh zabolevaniy na period do 2025 goda: Prikaz Ministerstva zdravookhraneniya Rossiyskoy Federatsii ot 15 yanvarya 2020 goda N 8 [Strategy for the formation of a healthy lifestyle of the population, prevention and control of non-communicable diseases for the period up to 2025: Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 8 dated January 15, 2020] [e-resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564215449> (date of reference: 25.05.2022). (In Russian.)
2. Derkanosova N. M., Kurchaeva E. E., Korol'kova N. V., Glotova I. A. Razrabotka i ispol'zovanie kompozitnykh smesey v proizvodstve muchnykh konditerskikh izdeliy [Development and use of composite mixtures in the production of flour confectionery] // Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy IX mezhdunarodnogo kongressa. Vol. 2. Moscow, 2017. Pp. 268–270. (In Russian.)
3. Callaway J. C. Hempseed as a nutritional resource: An overview // Euphytica. 2004. No. 140 (582). Pp. 65–72. DOI: 10.1007/s10681-004-4811-6.
4. Calzolari D., Rocchetti G., Lucini L., Amaducci S. The variety, terroir, and harvest types affect the yield and the phenolic and sterolic profiles of hemp seed oil // Food Research International. 2021. No. 142. Article number 110212. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110212.
5. Rusu I. E., Marc R. A., Mureşan C. C. Hemp (Cannabis sativa L.) flour-based wheat bread as fortified bakery product // Plants. 2021. Vol. 10. No. 8. DOI: 10.3390/plants10081558.
6. Ertaş N., Aslan M. Antioxidant and physicochemical properties of cookies containing raw and roasted hemp flour // Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria. 2020. No. 19 (2). Pp. 177–184. DOI: 10.17306/J.AFS.2020.0795
7. Calzolari D., Rocchetti G., Lucini L., Amaducci S. The variety, terroir, and harvest types affect the yield and the phenolic and sterolic profiles of hemp seed oil // Food Research International. 2021. Vol. 142. Article number 110212. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110212.
8. Baybekov R. F., Belopukhov S. L., Dmitrevskaya I. I., Dmitriev L. B. Sravnitel'naya kharakteristika sostava zhirnykh kislot v lipidakh masel iz semyan tekhnicheskikh kul'tur [Comparative Characteristics of Fatty Acids Composition in Oil Lipids from Industrial Crops Seeds] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2019. Vol. 33. No. 6. Pp. 62–65 (In Russian.)
9. Vasil'ev A. S. Razrabotka retseptury i otsenka kachestva pshenichnogo khleba s dobavleniem l'nyanoy i konoplyanoy muki [Recipe development and quality assessment of wheat bread with the addition of flaxseed and hemp flour] // Nauka i obrazovanie: opyt, problemy, perspektivy razvitiya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Krasnoyarsk, 2021. Pp. 263–266. (In Russian.)
10. Al'-Sukhaymi S. A., Toshev A. D., Androsova N. V. Issledovanie kachestvennykh pokazateley khlebobulochnykh izdeliy funktsional'noy napravlenosti s dobavleniem produktov pererabotki rastitel'nogo syr'ya [Studying functional bakery products qualitative indicators with the added plant raw materials processing products] // The Bulletin of KrasGAU. 2022. No. 8. Pp. 180–186. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-180-186. (In Russian.)
11. Zakharova L. M., Abushakhmanova L. V. Funktsional'no-tekhnologicheskie svoystva kletchatki [Functional and technological properties of fiber] // The Bulletin of ESSTUM. 2018. No. 3 (70). Pp. 60–66. (In Russian.)
12. Maletina V. S., Timoshenkova I. A. Issledovanie tekhnologicheskikh svoystv konoplyanoy muki [Study of the technological properties of hemp flour] // Nedelya nauki SPbPU: materialy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Saint Petersburg, 2017. Pp. 60–62. (In Russian.)

13. Mysakov D. S. Issledovanie pokazateley kachestva muchnogo konditerskogo izdeliya iz smesi konoplyanoy muki i muki iz gretskogo orekha [The study of quality indicators of flour confectionery from a mixture of hemp flour and walnut flour] // Issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh v reshenii actual'nykh problem XXI veka: sbornik nauchnykh statey. Ekaterinburg, 2017. Pp. 77–83. (In Russian.)
14. Lilishentseva A. N., Mel'nikova L. A., Tomashevich S. E., Selivanova M. S., Mel'nik Yu. A. Ispol'zovanie QFD-metodologii pri razrabotke obogashchennogo zefira [Using the QFD Methodology in the Development of Enriched Marshmallows] // Food Industry: Science and Technology. 2019. Vol. 12. No. 1 (43). Pp. 28–41. (In Russian.)
15. Tyrsova A. V., Nadyseva A. G. Ispol'zovanie kletchatki konoplyanoy dlya obogashcheniya blyud i povysheniya ikh pishchevoy i biologicheskoy tsennosti [The use of hemp fiber to enrich dishes and increase their nutritional and biological value] // Konkurentosposobnost' territoriy: materialy XXI Vserossiyskogo ekonomicheskogo foruma molodykh uchenykh i studentov. Ekaterinburg, 2018. Pp. 101–103. (In Russian.)
16. Matseychik I. V., Korpacheva S. M., Muntyan V. V. Razrabotka tekhnologiy i retseptur muchnykh konditerskikh izdeliy, obogashchennykh pishchevymi voloknami [Development of technologies and recipes for flour confectionery products enriched with dietary fiber] // Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova. 2018. No. 1 (50). Pp. 103–108. (In Russian.)
17. Frassinetti S., Moccia E., Caltavuturo L. Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts // Food Chemistry. 2018. Vol. 262. Pp. 56–66.
18. Babiker E. E., Uslu N., Al Juhaimi F., Mohamed Ahmed I. M., Ghafoor K., Özcan M., Almusallam I.A. Effect of roasting on antioxidative properties, polyphenol profile and fatty acids composition of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds // LWT. 2021. Vol. 139. Article number 110537. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110537.
19. Leonard W., Zhang P., Ying D., Fang Z. Hempseed in food industry: nutritional value, health benefits, and industrial applications // Comprehensive reviews in food science and food safety. 2020. Vol. 19. No. 1. Pp. 282–308. DOI: 10.1111/1541-4337.12517.

Authors' information:

Svetlana P. Merenkova¹, candidate of veterinary sciences, associate professor of the department of food and biotechnology, ORCID 0000-0002-8795-1065, AuthorID 668876; +7 951 813-70-62, merenkovasp@susu.ru
 Oksana V. Zinina¹, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of food and biotechnology, ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624; +7 906 871-36-81, zininaov@susu.ru
 Olga P. Neverova², candidate of biological sciences, head of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632; +7 912 634-94-62, opneverova@mail.ru

¹ South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Изучение генетической variability выделенных изолятов вируса лейкоза крупного рогатого скота в Белгородской области

М. В. Петропавловский^{1✉}, И. М. Донник¹, Н. А. Безбородова¹, А. М. Коваленко²,
С. Н. Беляева²

¹ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

² Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, Майский,
Россия

✉ E-mail: Petropavlovsky_m@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – изучение генетической variability выделенных в Белгородской области изолятов вируса лейкоза с применением метода полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (RFLP). **Методы.** Объектом исследований служили инфицированные вирусом лейкоза коровы 3–4-летнего возраста ($n = 10$), выявленные серологическими методами в неблагополучных молочно-товарных сельскохозяйственных предприятиях. Проводили РИД-диагностику, гематологические исследования, ПЦР, генотипирование, статистическую обработку полученных данных. **Научная новизна.** Лейкоз является одним из наиболее распространенных хронических инфекционных заболеваний крупного рогатого скота во многих странах мира и служит причиной существенных экономических потерь в отрасли животноводства. Типизация вируса лейкоза (BLV), изучение его генетической структуры, оценка мутаций и более подробное раскрытие биологических свойств патогена имеет большое фундаментальное и прикладное значение. **Результаты.** В результате проведенных гематологических исследований определена стадия лейкозного процесса у каждого животного. Методом двухэтапной гнездовой (nested) ПЦР был амплифицирован целевой участок env (gp51) гена BLV (444 п. н.) и осуществлено его генотипирование для всех изучаемых изолятов вируса лейкоза с применением метода полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (RFLP). Нами дана первичная оценка генетической variability BLV с установлением генетической группы (бельгийский генотип по RFLP). Мониторинговые исследования генотипов BLV и изучение антигенных изменений патогена позволят своевременно разрабатывать новейшие средства контроля и борьбы с распространением лейкоза, совершенствовать диагностические серологические и ПЦР тест-системы. Полученные специфические участки гена env (gp51) BLV будут использованы для дальнейшего проведения ДНК-секвенирования с последующим филогенетическим анализом и установлением аминокислотных изменений в структуре поверхностного гликопротеина (gp51) вируса лейкоза крупного рогатого скота.

Ключевые слова: вирус лейкоза, молекулярно-генетическая характеристика, филогенетика, гематология, крупный рогатый скот, генотипирование, днк-секвенирование, реакция энзимного полиморфизма.

Для цитирования: Петропавловский М. В., Донник И. М., Безбородова Н. А., Коваленко А. М., Беляева С. Н. Изучение генетической variability выделенных изолятов вируса лейкоза крупного рогатого скота в Белгородской области // Аграрный вестник Урала. 2022. Спецвыпуск «Биология и биотехнологии». С. 33–43. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-33-43.

Дата поступления статьи: 28.11.2022, **дата рецензирования:** 08.12.2022, **дата принятия:** 12.12.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Вирус лейкоза крупного рогатого скота (ВЛ КРС) – РНК-содержащий онкогенный вирус, который, согласно таксономической классификации (ICTV), относится к семейству *Retroviridae*, роду *Deltaretrovirus* [1; 11]. Возбудитель поражает им-

мунокомпетентные клетки восприимчивого организма и вызывает необратимые неопластические изменения лимфоидной системы, приводящие у 30–70 % инфицированного скота к стойкому персистентному лимфоцитозу и у 2–5 % – к развитию лимфосаркомы [1; 2; 16; 22]. Персистенция ви-

руса лейкоза у инфицированных животных происходит пожизненно. При данном заболевании до сих пор не разработано эффективных методов лечения и вакцинопрофилактики [1; 2; 4; 9; 19].

В настоящее время лейкоз является одним из наиболее распространенных хронических инфекционных заболеваний среди крупного рогатого скота во многих странах мира [11] и причиной экономических потерь, связанных с вынужденной выбраковкой высокопродуктивных племенных животных на ранних этапах производственного использования, а также с потерями продуктивности, связанными в том числе и с влиянием заболевания на иммунный статус [1; 2; 4; 6; 8; 9; 10; 19; 22].

Единственный эффективный метод искоренения патогена – четкое выполнение программ контроля над распространением заболевания, основой которых является своевременное и эффективное выявление и изолирование инфицированных животных [1; 4; 9; 19; 22].

Современные методы диагностики вируса лейкоза имеют достаточно высокую эффективность, однако вероятность получения некорректных данных лабораторного контроля коррелирует с генетической вариабельностью отдельных изолятов патогена [7; 13; 14; 18]. Кроме того, установлена взаимосвязь между распространением в популяции крупного рогатого скота инфекции, вызванной отдельными географическими генетическими вариантами вируса лейкоза, тяжестью вызываемого патологического процесса и скоростью развития клинических симптомов заболевания [14; 18].

Таким образом, типизация BLV, изучение его генетической структуры с оценкой мутаций и более подробное раскрытие биологических свойств патогена имеет большое значение для вирусологии, эпизоотологии и других наук. Отраслевое значение мониторинговых исследований генотипов BLV и изучение антигенных изменений патогена позволит своевременно разрабатывать новейшие средства контроля и борьбы с распространением лейкоза, совершенствовать диагностические серологические и ПЦР тест-системы, в том числе путем подбора специфичных праймеров для консервативных фрагментов генома возбудителя.

Цель исследования – изучить генетическую вариабельность выделенных в неблагополучных молочно-товарных хозяйствах Белгородской области изолятов вируса лейкоза с применением метода энзимного генотипирования (RFLP).

Задачи:

1. Провести генотипирование выделенных в неблагополучных молочно-товарных хозяйствах Белгородской области изолятов вируса лейкоза с применением метода полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (RFLP).

2. Изучить гематологические показатели исследуемых групп животных.

3. Выделить целевой фрагмент env гена BLV и подготовить полученные образцы к дальнейшему ДНК-секвенированию.

Методология и методы исследования (Methods)

Работа выполнена в лаборатории лейкоза отдела мониторинга и прогнозирования инфекционных болезней животных и в лаборатории геномных исследований и селекции животных Уральского научно-исследовательского ветеринарного института – структурного подразделения УрФАНИЦ УрО РАН, а также на базе Белгородского государственного аграрного университета имени В. Я. Горина (испытательная лаборатория, лаборатория по изучению инфекционных и инвазионных болезней и апробации ветеринарных препаратов).

Объект исследований: – крупный рогатый скот черно-пестрой молочной породы, принадлежащий сельскохозяйственным предприятиям Белгородской области.

Предмет исследования – цельная кровь, лейкоцитарная взвесь.

Подготовка лейкоцитарной фракции

Методика выделения (изоляция) лейкоцитов проведена в условиях лаборатории Белгородского государственного аграрного университета. Отбор цельной крови от животных производили вакуумным способом с использованием пробирок с ЭДТА в качестве стабилизатора. Методика выделения лейкоцитов проведена в асептических условиях с применением раствора фикола ($\rho = 1,077 \text{ г/мл}$)¹.

В результате центрифугирования разбавленной крови с раствором фикола образовывался белесый мениск на границе раздела фракций – лейкоциты (моноклеарная фракция клеток крови) (по методике А. Воуп, 1974). Далее изолировали лейкоцитарное кольцо, а приготовленные пробы замораживали.

Сбор образцов и хранение ДНК

Образцы крови были взяты от 10 серологически положительных коров 3–4-летнего возраста, естественно инфицированных BLV. Серологические исследования на лейкоз проведены в ветеринарных лабораториях Белгородской области методом реакции иммунной диффузии (РИД). Отбор проб крови производили одноразовыми вакуумными системами в стерильные пробирки типа ЭДТА КЗ для молекулярно-генетических и гематологических исследований.

Для проведения РИД-диагностики использован диагностический набор производства Курской биофабрики – фирмы «БИОК». Исследование проводилось согласно инструкции № 13-7-2/2130, утвержденной Департаментом ветеринарии Минсельхоза России от 23.08.2000 г.

¹ Раствор фиолла. URL: https://paneco-ltd.ru/products/fikolla-rastvor_1 (дата обращения: 25.11.2022).

Гематологические исследования крови животных проводили на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-3020 (Китай) согласно инструкции по работе с данным прибором.

Амплификация вирусной ДНК с помощью ПЦР

Выделение ДНК из крови крупного рогатого скота и постановку ПЦР проводили в соответствии с инструкциями производителя по применению тест-систем. В работе использовали набор реагентов для выделения ДНК Diatom DNA Prep 200 компания ООО «ИзоГен» (Москва). Измерение концентрации ДНК проводили флуориметрическим методом при помощи прибора MaxLife H100 Mod.2 ООО «МВМ Диагностика» (Барнаул).

Для выявления в пробах ДНК вируса лейкоза крупного рогатого скота использовали коммерческий тест-набор «Лейкоз» для выявления вируса лейкоза крупного рогатого скота методом ПЦР Ampli Sens (ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва). Амплификацию в режиме реального времени проводили с применением оборудования Real-time CFX96 Touch (Bio-Rad, США).

Фрагмент гена env 444 п. н. амплифицировали с помощью гнездовой (nested) ПЦР с использованием следующих праймеров: env 5032 tct-gtg-cca-agt-ctc-cca-gat-a, env 5608 aac-aac-aac-ctc-tgg-gaa-ggg-t, env 5099 ccc-aca-agg-gcg-gcg-ccg-gtt-t, env 5521 gcg-agg-ccg-ggt-cca-gag-ctg-g [5], синтезированных компанией ООО «Синтол» (Москва). С проведением двух последовательных реакций со следующими параметрами циклов: 2 минуты при 94 °С (1 цикл), 30 секунд при 95 °С, 30 секунд при 62 °С (внешние праймеры) или 30 секунд при 70 °С (внутренние праймеры), 60 секунд при 72 °С (40 циклов), 4 минуты при 72 °С.

На первом этапе постановки гнездовой ПЦР электрофоретическая подвижность ампликонов соответствовала длине фрагмента 600 п. н., на втором этапе – 444 п. н.

ПДРФ-анализ (RFLP – Restriction Fragment Length Polymorphism) проводили путем разрезания участка ДНК (444 п. н. env гена) с помощью эндонуклеаз рестрикции BamHI, PvuII, BclI (Thermo Fisher Scientific, США) со следующими параметрами циклов: BamHI, PvuII – 37 °С 2 часа; BclI – 55 °С 2 часа. Анализ размеров образующихся фрагментов (рестриктов) проводили путем гель-электрофореза.

Результаты проведенной рестрикции учитывали в соответствии с табличными данными [3] (таблица 1).

Для проведения гнездовой (nested) ПЦР применяли мастер-микс-наборы – «БиоМастер» HS-Tag ПЦР (2^x) ООО «Биолабмикс» (Новосибирск).

Амплификацию/инкубацию ДНК проводили с использованием термоциклера SWIFT Maxi PRO (ESCO TECHNOLOGIS, INC., USA).

В качестве контроля амплификации, на всех этапах исследований использовали ДНК, выделенную из референтной линии клеток FLK-BLV.

Культивирование клеточной линии FLK BLV (M. Van Der Maaten, J. Miller, A. Boothe, 1974) производили монослойным способом на среде 199 с добавлением 10 % бычьей эмбриональной сыворотки.

Учет реакции осуществляли методом горизонтального электрофореза с применением 1,5 % агарозного геля с добавлением бромистого этидия в качестве интеркалирующего красителя для ДНК. В работе применяли оборудование, систему для геледокументирования с УФ-источником света E-Gel Imagen Sistem (Thermo Fisher Scientific Inc.).

Для определения размера ампликонов после проведения ПЦР-исследований использовали маркер Step100 ООО «Биолабмикс» (Новосибирск) и ДНК-маркеры 1 Kb НПО «СибЭнзим» (Новосибирск).

Статистическую обработку данных проводили методами вариационной статистики в виде расчетов среднего арифметического, стандартного отклонения и коэффициентов вариации с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2019.

Таблица 1
Генотипы вируса лейкоза в зависимости от размеров образующихся фрагментов (рестриктов) путем гель-электрофореза

Тип BLV	BamHI	PvuII	BclI
Японский	316, 128	444	219, 121, 104
Австралийский	316, 128	444	225, 219
Бельгийский	444	280, 164	225, 219

Table 1
Genotypes of the leukemia virus depending on the size of the formed fragments (restrictions) of the subsequent gel electrophoresis

BLV Type	BamHI	PvuII	BclI
Japanese	316, 128	444	219, 121, 104
Australian	316, 128	444	225, 219
Belgian	444	280, 164	225, 219

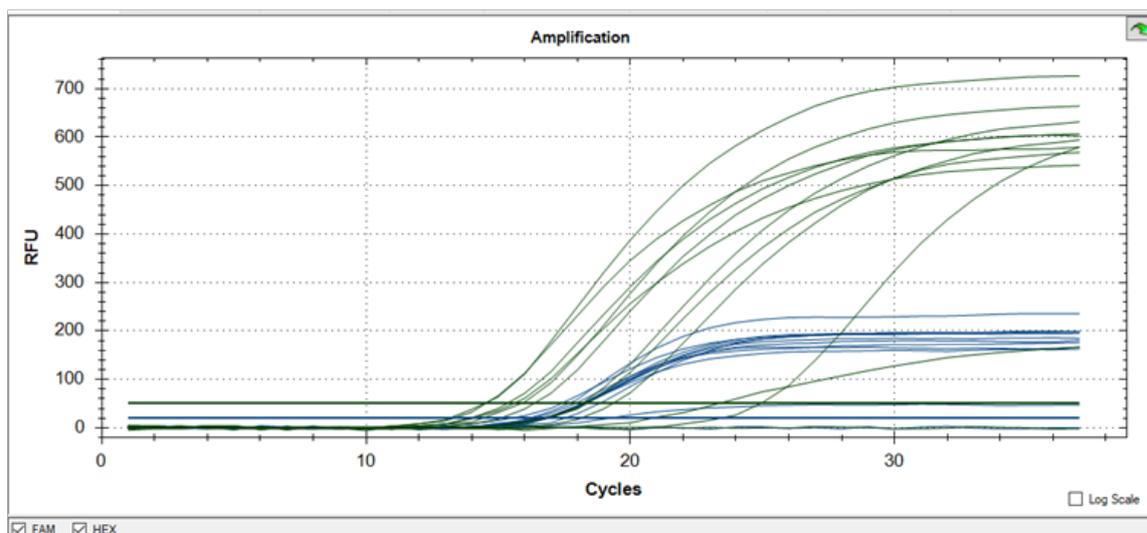


Рис. 1. Детекция продуктов амплификации на приборе CFX96 и анализ специфического участка ДНК вируса лейкоза крупного рогатого скота по каналам HEX-образцы ДНК ($n = 10$), контроль + / FAM – внутренний контроль
 Fig. 1. Detection of amplification products on the CFX96 device and analysis of a specific DNA site of the bovine leukemia virus through channels HEX- sample DNA ($n=10$), control + / FAM – internal control

Результаты (Results)

Нами произведен подбор общепринятых в научном сообществе методик по изучению генетических характеристик штаммов, полученных из районов Белгородской области. В качестве целевого гена для проведения генотипирования и последующей филогенетической оценки выбран env-ген BLV, кодирующий gp 51 (SU) [17] гликопротеин и его участок длиной 444 п. н. На первом этапе сформированы протоколы исследований и произведен отбор проб цельной крови и подготовлена лейкоцитарная взвесь от предварительно серологически исследованных на лейкоз (в РИД) коров (возраст 3–4 года) черно-пестрой породы ($n = 10$) из неблагополучных по заболеванию районов Белгородской области. По результатам исследований животные имели статус – серопозитивные (BLV+).

В результате проведенных в Белгородском государственном аграрном университете гематологических исследований данных животных ($n = 10$) установлено, что распределение эритроцитов по объему было приближено к верхней границе нормы и составляло 16,6 и 20,7 % (нормативный показатель 14,0–19,0 %).

У всех исследованных коров было установлено снижение гемоглобина более чем на 50 %, до 46–72 г/л. Количество тромбоцитов находилось выше нижней границы нормы в 1,96–4,25 раза. Средний объем тромбоцитов может быть повышен вследствие вовлечения в патологический процесс многих органов и систем организма.

Пониженный гематокрит сигнализирует о нарушении процесса образования эритроцитов, нарушении синтеза гемоглобина при анемии. Преждевременная гибель эритроцитов возникает часто при злокачественных опухолях и приводит к пониженной выработке красных клеток. У исследованных

коров гематокрит составлял 28,0–28,9 %, что меньше нормы в 1,59 раза (28,0–46,0 %).

Наиболее значительные изменения отмечены в показателях белой крови. У коровы № 9 установлена начальная стадия (сублейкемическая) заболевания лейкозом, количество лейкоцитов составляло $19,4 \cdot 10^9$ /л, абсолютное количество лимфоцитов составляло $10,5 \cdot 10^9$ /л. У всех остальных исследованных коров выявлен высокий лейкоцитоз (показатели количества лейкоцитов от 23,7 до $30,4 \cdot 10^9$ /л), а по абсолютному количеству лимфоцитов (от 4,4 до $9,9 \cdot 10^9$) определена алейкемическая стадия лейкозного процесса.

Результаты ПЦР-исследований коммерческими тест-системами показали, что все изучаемые образцы были положительными по вирусу лейкоза крупного рогатого скота и содержали специфические участки provirus BLV (рис. 1).

При постановке первого этапа гнездовой (nested) ПЦР с использованием полученной геномной ДНК в концентрации 500 нг и первой парой внешних праймеров (env 5032, env 5608), во всех исследуемых пробах были получены ампликоны, которые при постановке в горизонтальном электрофорезе соответствовали длине фрагмента 600 п. н. и хорошо просматривались при визуальной оценке (рис. 2).

Далее полученные ампликоны (600 п. н.) использовали для постановки второго этапа гнездовой (nested) ПЦР с внутренней парой праймеров (env 5099, env 5521).

Результатом гнездовой (nested) ПЦР с использованием данных праймеров стало получение всех 10 образцов специфических ампликонов env гена BLV длиной 444 п. н., соответствие длине фрагмента визуализировано при постановке в горизонтальном электрофорезе (рис. 3).

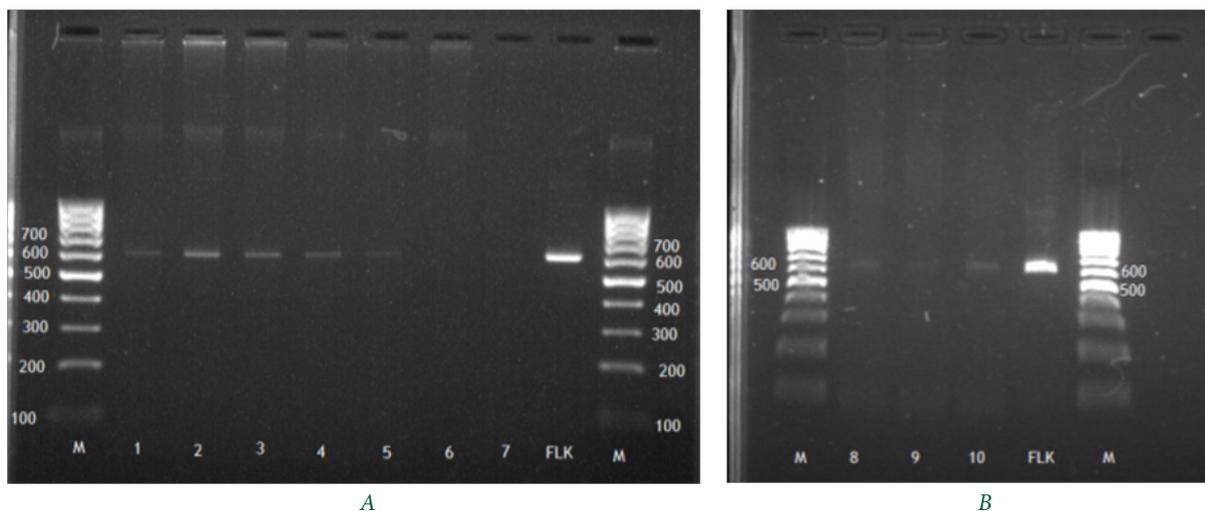


Рис. 2. Электрофореграмма продуктов амплификации: М – маркер м100 шагом; А – ампликоны длиной 600 п. н. после первого этапа гнездовой (nested) ПЦР (env 5032, env 5608), образцы № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; В – образцы № 8, 9, 10; FLK – ДНК, выделенная из референтной клеточной линии FLK BLV (положительный контрольный образец)
 Fig. 2. Electrophoregram of amplification products: М – marker m100 in increments; А – amplicons 600 bp long after the first stage of nested PCR (env 5032, env 5608), samples No. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; В – samples No. 8, 9, 10; FLK – DNA isolated from the reference cell line FLK BLV (positive control sample)

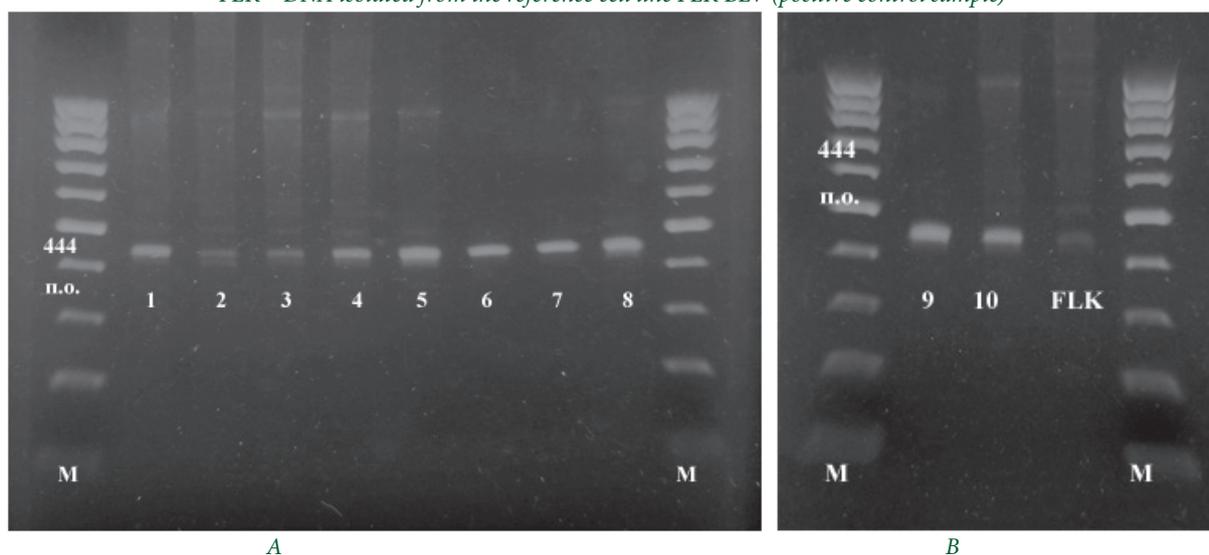


Рис. 3. Электрофореграмма продуктов амплификации: М – маркер м100 шагом; А, В – ампликоны длиной 444 п. н. после второго этапа гнездовой (nested) ПЦР (env 5032, env 5608); А – образцы № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8; В – образцы № 9, 10; FLK – ДНК, выделенная из референтной клеточной линии FLK BLV (положительный контрольный образец)
 Fig. 3. Electrophoregram of amplification products: М – marker m100 in increments; А, В – amplicons 444 b. p. long after the second stage of nested PCR (env 5032, env 5608); А – samples No. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8; В – samples No. 9, 10; FLK – DNA isolated from the reference cell line FLK BLV (positive control sample)

Таким образом, был получен целевой для проведения генотипирования вируса лейкоза участок гена env длиной 444 п. н. для каждого исследуемого образца.

Затем проведено генотипирование, выделенного фрагмента (444 п. н.) env гена вируса лейкоза крупного рогатого скота, для этого произведен энзимный анализ, принцип которого – разрезание нуклеотидных последовательностей в генотип-детерминированных участках ферментами-рестриктазами (VamHI, PvuII и BclI) (рис. 4).

При проведении ПДРФ-анализа было выяснено, что все 10 исследуемых образцов соответствовали бельгийскому генотипу вируса лейкоза при показа-

телях длин рестрикетов: VamHI – 444 п. н.; PvuII – 280, 164 п. н.; BclI – 219 п. н.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Известно, что геном вируса лейкоза крупного рогатого скота содержит структурные гены (gag, pol и env) кодирующие важнейшие для жизнедеятельности патогена структурно-функциональные белки [5; 16; 17; 24].

Аминокислотные замены в таких белках, имеющие даже единичный характер, обуславливают формирование отдельных генетических кластеров вируса лейкоза и оказывают влияние на инфекционные свойства патогена, на его выявляемость при диагностическом скрининге [7; 13; 18; 24].

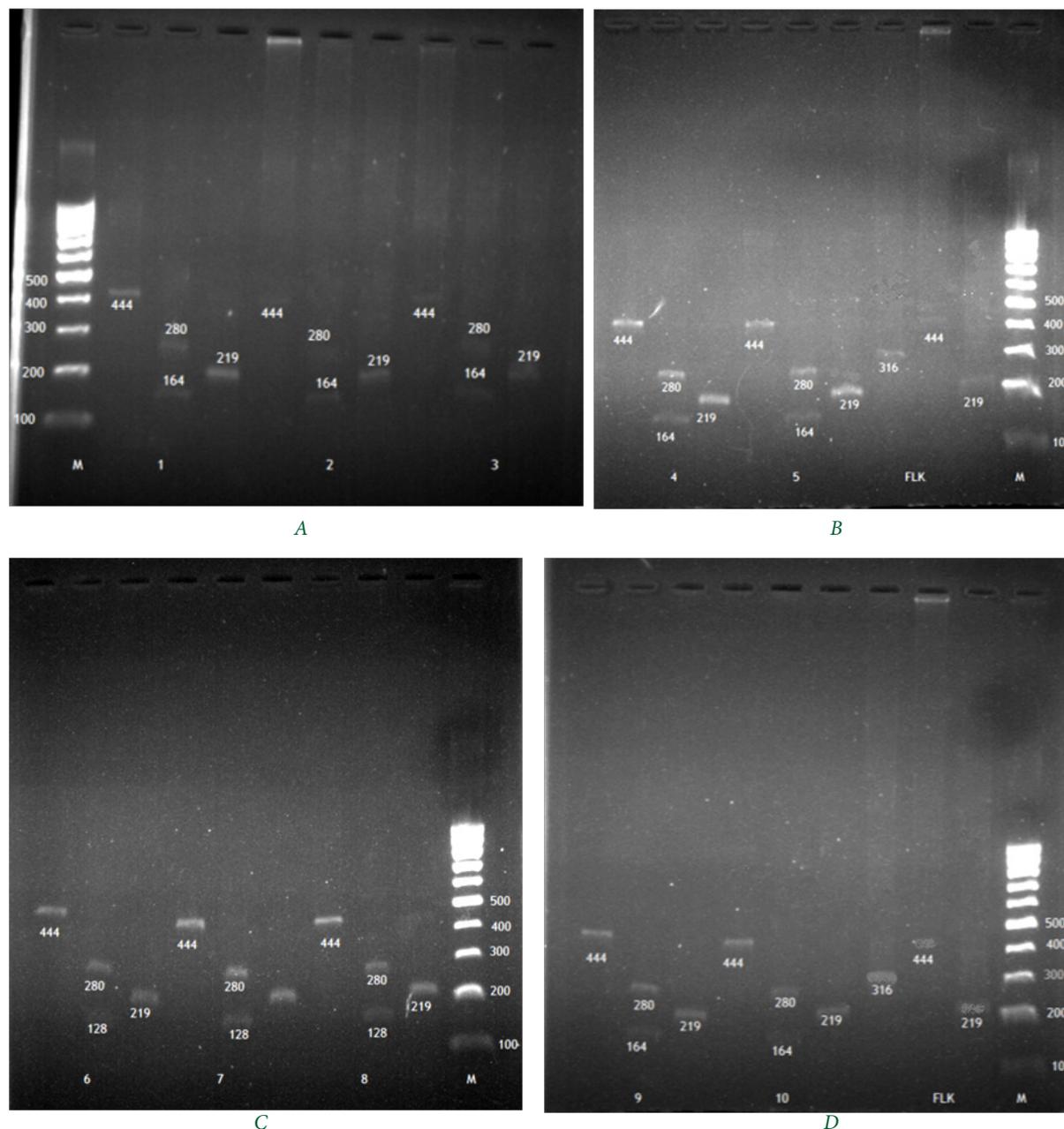


Рис. 4. Электрофореграммы распределения сайтов рестрикции при исследовании *env* гена BLV, участок 444 п. н. методом ПДРФ: М – маркер м100 шагом; бельгийский генотип BLV образцы: А – 1, 2, 3; В – 4, 5; С – 6, 7, 8; D – 9, 10; FLK BLV (положительный контрольный образец, реагирует как австралийский генотип)
 Fig. 4 Electrophoregrams of the distribution of restriction sites in the study of the *env* gene BLV, site 444 b. p. by the RFLP method: M – marker m100 step; belgian genotype BLV samples: A – 1, 2, 3; B – 4, 5; C – 6, 7, 8; D – 9, 10; FLK BLV (positive control sample, reacts as australian genotype)

Поверхностный гликопротеин gp51 (SU) и трансмембранный gp30 (TM) обуславливают вирулентность вируса и имеют большое значение в их серологической диагностике [7; 18; 24]. Названные белки возбудителя кодируются *env* геном [17; 24].

Изучение нуклеотидных (SNP) замен в доменах, кодирующих важные структурные белки BLV, является актуальной задачей. В связи с этим в качестве таргетных участков гена *env* возбудителя лейкоза с целью проведения генотипирования, ДНК-

секвенирования и последующей филогенетической оценки, выбран фрагмент *env* гена, длиной 444 п. н. [5; 16; 18].

Генотипирование последовательностей осуществляют несколькими способами: полногеномным исследованием всей ДНК-последовательности провируса; секвенированием коротких участков генома вируса лейкоза; выявлением полиморфизмов коротких фрагментов при помощи рестриктаз (энзимов) [16].

Электрофоретической характеристикой длин выявленных отрезков ДНК определяют генетическую кластеризацию BLV. Согласно опубликованным ранее сведениям о генотип-специфических полиморфизмах различных вариантов BLV, воздействие рестриктаз на определенные нуклеотидные последовательности в этих местах (имеющие SNP) и позволяет классифицировать изолят вируса лейкоза в тот или иной кластер (австралийский, бельгийский или японский) [3; 5; 16].

ДНК-секвенирование всего выделенного участка позволяет провести подробный биоинформатический анализ, включая сравнительную филогенетическую оценку изучаемых последовательностей с изолятами, выявленными на других географических территориях и определить аминокислотные полиморфизмы [5; 12; 16; 17].

В настоящее время генетическое разнообразие BLV, основанное на генотипировании env-гена, классифицировано и представлено 12 различными генетическими группами вируса в разных географических точках мира [3; 5; 13; 15; 16; 18; 20; 21; 23]. В Российской Федерации в настоящее время выявлены распространённые представители генотипа вируса лейкоза – G4 (бельгийский), G7 (австралийский) и G8 (австралийский) [13; 18].

Проведенными ранее исследованиями (ПДРФ- и ДНК-секвенирование) env-фрагментов BLV, полученных в 2010–2020 гг. на территориях Тюменской, Курганской, Челябинской, Свердловской областей, Краснодарского края было показано присутствие G4 и G7 генотипов в этих регионах, а также (на примере Тюменской области) отмечено изменение доминирующего генотипа вируса лейкоза с G7 австралийского на другой – G4 бельгийский [13; 18]. У крупного рогатого скота, инфицированного вирусом лейкоза G4 генетической группы, несмотря на средний возраст 3,5 года, лейкозный процесс описан на сублейкемической и лейкемической стадиях, что означает его быстрый переход от одной форме к другой. У животных показаны выраженные нарушения функции кроветворения и значительная дисфункция иммунной системы [14]. Скорость перехода заболевания в гематологическую и терминальные стадии может быть обусловлена увеличением провирусной нагрузки за счет усиления иммуногенных свойств вируса. Это реализуется за счет антигенных изменений в конформационных эпитопах, что, по-видимому, является приспособительной особенностью возбудителя и способствует его «маскировке» от иммунного надзора макроорганизма.

На основании эпизоотологических, молекулярно-генетических и иммуногематологических исследований был сделан вывод о потенциальной опасности варианта G4 (бельгийский) вируса лейкоза для отрасли животноводства. Увеличение прови-

русной нагрузки может повышать контагиозность животных, способствуя широкому распространению данной генетической группы патогена среди популяций крупного рогатого скота, создавая тем самым проблемы при проведении оздоровительных противолейкозных мероприятий. Увеличение патогенности обуславливает скорость перехода заболевания в гематологическую и терминальные стадии, нанося весомый экономический ущерб сельскохозяйственным предприятиям [13; 18].

Проведение исследований по изучению молекулярно-генетических характеристик изолятов вируса лейкоза в Белгородской области осуществлено впервые.

Методом двухэтапной гнездовой (nested) ПЦР был амплифицирован целевой фрагмент env гена BLV (444 п. н.) и осуществлено генотипирование данного участка для всех изучаемых образцов с применением метода полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (RFLP). При проведении данного анализа было выяснено, что все образцы соответствовали ($n = 10$) бельгийскому генотипу вируса лейкоза (VamH1 – 444 п. н., PvuII – 280, 164 п. н., BclI – 219 п. н.).

Исходя из данных о географическом распространении изолятов вируса лейкоза в Российской Федерации, вероятно, на территории данного региона ассимилировал генотип вируса лейкоза крупного рогатого скота группы G4, подробные данные могут быть предоставлены только после проведения ДНК-секвенирования образцов, биоинформатической обработки результатов и дальнейшего скрининга генотипов вируса лейкоза в регионе.

Проведенными гематологическими исследованиями животных, от которых был отобран биоматериал, отмечены значительные изменения показателей белой крови, была установлена стадия лейкозного процесса у каждого животного. Начальная (сублейкемическая) стадия заболевания лейкозом определена у одного животного, количество лейкоцитов составляло $19,4 \cdot 10^9/\text{л}$, а абсолютное количество лимфоцитов – $10,5 \cdot 10^9/\text{л}$. У остальных исследованных коров выявлена алейкемическая стадия лейкоза (при значительно выраженном лейкоцитозе в пределах от 23,7 до $30,4 \cdot 10^9/\text{л}$ и абсолютном количестве лимфоцитов – от 4,4 до $9,9 \cdot 10^9/\text{л}$). Это указывает на возможное дальнейшее прогрессирование лейкозного патологического процесса у обследованных животных при возрастающей провирусной нагрузке.

Таким образом, изучением полиморфизмов, выделенных в Белгородской области изолятов вируса лейкоза крупного рогатого скота дана первичная оценка генетической варибельности BLV с установлением генетической группы (бельгийский генотип по RFLP).

В ходе работы были получены специфические участки гена env gp51 BLV, которые будут использованы для дальнейшего проведения ДНК-секвенирования с последующим филогенетическим

анализом и установлением аминокислотных изменений в структуре поверхностного гликопротеина gp51 (SU) вируса лейкоза крупного рогатого скота.

Библиографический список

1. Донник И. М., Гулюкин М. И., Бусол В. А., Коваленко Л. В., Коваленко А. М. Лейкоз крупного рогатого скота – диагностика, оздоровление, антропозоонозный потенциал (история вопроса) (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 2. С. 230–244.
2. Гулюкин М. И., Капустина О. В., Ездакова И. Ю., Вальциферова С. В., Степанова Т. В., Аноятбеков М. Выявление специфических антител классов G и M к вирусу лейкоза крупного рогатого скота в сыворотках крови // Вопросы вирусологии. 2019. № 64 (4). С. 173–177. DOI: 10.36233/0507-4088-2019-64-4-173-177.
3. Asfaw Y., Tsuduku S., Konishi M., Murakami K., Tsuboi T., Wu D. et al. Distribution and superinfection of bovine leukemia virus genotypes in Japan // Archives of Virology. 2005. No. 150. Pp. 493–505.
4. Bartlett P. C., Ladronka R. M., Ruggiero V. J., Hutchinson H. What dairy veterinarians should know about bovine leukemia virus // Bovine Practitioner. 2018. No. 52 (1). Pp. 1–7.
5. Beier D., Blankenstein P., Marquardt O., Kuzmak J. Identification of different BLV provirus isolates by PCR, RFLPA and DNA sequencing // Berl Munch Tierarztl Wochenschr. 2001. Vol. 114. No. 7-8. Pp. 252–256.
6. Chen Y. C., Chin W. Y., Chang C. C., Chuang S. T., Hsu W. L. Potential Risk Factors Associated with Infection with Bovine Leukaemia Virus in Dairy and Beef Cattle in Taiwan // Pathogens. 2021. No. 10 (12). Article number 1553. DOI: 10.3390/pathogens10121553.
7. Fechner H., Blankenstein P., Looman A. C., Elwert J., Geue L., Albrecht C. et al. Provirus variants of the bovine leukemia virus and their relation to the serological status of naturally infected cattle // Virology. 1997. Vol. 237. No. 2. Pp. 261–269.
8. Frie M. C., Coussens P. M. Bovine leukemia virus: a major silent threat to proper immune responses in cattle // Veterinary Immunology and Immunopathology. 2015. Vol. 163 (3-4). Pp. 103–114. DOI: 10.1016/j.vetimm.2014.11.014.
9. Kuczewski A., Adams C., Lashewicz B., van der Meer F. Alberta dairy farmers' and veterinarians' opinion about bovine leukemia virus control measures // Preventive Veterinary Medicine. 2022. Vol. 200. Article number 105590. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2022.105590.
10. LaDronka R. M., Ainsworth S., Wilkins M. J., Norby B., Byrem T. M., Bartlett P. C. Prevalence of bovine leukemia virus antibodies in US dairy cattle // Veterinary Medicine International. 2018. Vol. 2018. DOI: 10.1155/2018/5831278.
11. Enzootic Bovine Leukosis Disease situation [e-resource] URL: <https://wahis.woah.org/#/dashboards/country-or-disease-dashboard> (date of reference: 13.06.2022).
12. Pavliscak L. A., Nirmala J., Singh V. K., Sporer K. R. B., Taxis T. M., Kumar P., Goyal S. M., Mor S. K., Schroeder D. C., Wells S. J., Droscha C. J. Tracing Viral Transmission and Evolution of Bovine Leukemia Virus through Long Read Oxford Nanopore Sequencing of the Proviral Genome // Pathogens. 2021. Vol. 10 (9). Article number 1191. DOI: 10.3390/pathogens10091191.
13. Petropavlovskiy M. et al. Epizootiological and genetic characterization of the bovine leukemia virus in the Russian Federation – evaluation of bovine leukemia virus in Russia // Veterinary Archives. 2019; 89: 785–798.
14. Petropavlovsky M. V., Vereshchak N. A., Bezborodova N. A., Oparina O. Yu. Immuno-biological evaluation of individual genetic variants of bovine leukemia virus in the conditions of the Ural region // Digital agriculture – development strategy: proceedings of the International Scientific and Practical Conference (ISPC 2019). Advances in Intelligent Systems Research. Ekaterinburg, 2019. Pp. 372–377.
15. Pluta A., Rola-Łuszczak M., Kubis P., Balov S., Moskalik R., Choudhury B., Kuzmak J. Molecular characterization of bovine leukemia virus from Moldovan dairy cattle. Archives of Virology. 2018. Vol. 162. No. 6. Pp. 1563–1576.
16. Polat M., Takeshima S., Aida Y. Epidemiology and genetic diversity of bovine leukemia virus // Virology Journal. 2017. Vol. 14. Article number 209. DOI: 10.1186/s12985-017-0876-4.
17. Rice N. R., Stephens R. M., Couez D., Deschamps J., Keltmann R., Burny A. et al. The nucleotide sequence of the env gene and the post-env region of bovine leukemia virus // Virology. 1984. Vol. 138. Pp. 82–93.
18. Rola-Łuszczak M., Pluta A., Olech M., Donnik I., Petropavlovskiy M., Gerilovych A. et al. The molecular characterization of bovine leukemia virus isolates from Eastern Europe and Siberia and its impact on phylogeny // PLoS One. 2013. Vol. 8. No. 3. Article number e58705. DOI: 10.1371/journal.pone.0058705.
19. Ruggiero V. J., Bartlett P. C. Control of Bovine Leukemia Virus in Three US Dairy Herds by Culling ELISA-Positive Cows // Veterinary Medicine International. 2019. Article number 3202184. DOI: 10.1155/2019/3202184.

20. Sultanov A., Rola-Łuszczak M., Mamanova S., Ryło A., Osiński Z., Saduakassova M. A., Bashenova E., Kuźmak J. Molecular Characterization of Bovine Leukemia Virus with the Evidence of a New Genotype Circulating in Cattle from Kazakhstan // *Pathogens*. 2022. Vol. 11 (2). Article number 180. DOI: 10.3390/pathogens11020180.
21. Suzuki A., Chapman R., Douglass N., Carulei O., van Rensburg J., Williamson A. L. Phylogenetic Analysis of South African Bovine Leukaemia Virus (BLV) Isolates. *Viruses*. 2020. Vol. 12. No. 8. Article number 898. DOI: 10.3390/v12080898.
22. Enzootic bovine leucosis [e-resource] // In: OIE Terrestrial Manual 2018. Chap 3.4.9. Pp. 1113–1124. URL: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.04.09_EBL.pdf (date of reference: 13.06.2022).
23. Yang, Y., Chen, L., Dong, M. et al. Molecular characterization of bovine leukemia virus reveals existence of genotype 4 in Chinese dairy cattle. *Virology Journal*. 2019. Vol. 16. Article number 108. DOI: 10.1186/s12985-019-1207-8.
24. Zhao X., Buehring G. Natural genetic variations in bovine leukemia virus envelope gene: possible effects of selection and escape // *Virology*. 2007. Vol. 366. Pp. 150–165.

Об авторах:

Максим Валерьевич Петропавловский¹, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-9892-6092, AuthorID 676746; +7 902 877-46-57, petropavlovsky_m@mail.ru

Ирина Михайловна Донник¹, академик РАН, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, ORCID 0000-0002-8593-7470, AuthorID 313786; ktqrjp7@yandex.ru

Наталья Александровна Безбородова¹, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0003-2793-5001, AuthorID 665979; n-bezborodova@mail.ru

Анатолий Михайлович Коваленко², доктор ветеринарных наук, профессор, ORCID 0000-0002-7219-4049, AuthorID 345276; mycobacteria@rambler.ru

Светлана Николаевна Беляева², кандидат биологических наук, доцент, ORCID 0000-0002-2181-6899, AuthorID 1078572; belysveta2@yandex.ru

¹ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр

Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

² Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, Майский, Россия

Study of genetic diversity of bovine leukemia virus isolates obtained in the Belgorod region

M. V. Petropavlovskiy¹✉, I. M. Donnik¹, N. A. Bezborodova¹, A. M. Kovalenko², S. N. Belyaeva²

¹ Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

² Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, Mayskiy, Russia

✉ E-mail: Petropavlovsky_m@mail.ru

Abstract. The purpose of the research Was to study genetic diversity of bovine leukemia virus isolates obtained in the Belgorod Region using restriction fragment length polymorphism method (RFLP). **Scientific novelty.** Bovine leukosis is one of the most common chronic infectious diseases of cattle in many countries of the world, which causes significant economic losses in the livestock industry. The typing of bovine leukemia virus (BLV), the study of its genetic structure, the evaluation of the mutation vector and a more detailed disclosure of the biological properties of the pathogen represent fundamental and applied value. **Methods.** The object of the research was 3–4-year-old cows infected with leukemia virus ($n = 10$), identified by serological methods in disadvantaged dairy farms. The immunodiffusion (ID) test, hematologic studies, PCR, genotyping, statistical processing of obtained data were conducted. **Results.** Conducted hematological studies determined the stage of the leukemic process in each animal. The target env fragment of the BLV gene (444 bp) was amplified by 2-stage nested PCR, and this region was genotyped for all studied leukemia virus isolates using the restriction fragment length polymorphism (RFLP) method. In the course of the work, specific regions of the BLV env (gp51) gene, 970 bp long, were also obtained. We have given a primary assessment of the genetic diversity of BLV with the establishment of a genetic group (Belgian genotype according to RFLP). In the course of the work, specific regions of the env gp51 BLV gene, 444 bp long, were obtained. These fragments will be used for further DNA sequencing followed by phyloge-

netic analysis and determination of amino acid changes in the structure of the surface glycoprotein (gp51) of the bovine leukemia virus. Monitoring studies of BLV genotypes and the study of antigenic changes in the pathogen will allow timely development of the latest means of controlling and restricting the spread of bovine leukosis and improvement of diagnostic serological and PCR test systems.

Keywords: bovine leukemia virus, molecular genetic characteristics, phylogenetics, hematology, cattle, genotyping, DNA sequencing, enzyme polymorphism reaction.

For citation: Petropavlovskiy M. V., Donnik I. M., Bezborodova N. A., Kovalenko A. M., Belyaeva S. N. Izucheniye geneticheskoy variabel'nosti vydelennykh izolyatov virusa leykoza krupnogo rogatogo skota v Belgorodskoy oblasti [Study of genetic diversity of bovine leukemia virus isolates obtained in the Belgorod region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue "Biology and biotechnologies". Pp. 33–43. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-33-43. (In Russian.)

Date of paper submission: 28.11.2022, **date of review:** 08.12.2022, **date of acceptance:** 12.12.2022.

References

1. Donnik I. M., Gulyukin M. I., Busol V. A., Kovalenko L. V., Kovalenko A. M. Leykoz krupnogo rogatogo skota – diagnostika, ozdorovlenie, antropozoonoznyy potentsial (istoriya voprosa) (obzor) [Bovine leukemia virus infection – diagnostics, eradication, and anthroozoonotic potential (background) (review)] // Agricultural Biology. 2021. Vol. 56. No. 2. Pp. 230–244.
2. Gulyukin M. I., Kapustina O. V., Ezzakova I. Yu., Valtsiferova S. V., Stepanova T. V., Anoyatbekov M. Detection of specific antibodies of classes G and M to bovine leukemia virus in the blood serum // Problems of Virology, Russian journal. 2019. No. 64 (4). Pp. 173–177. DOI:10.36233/0507-4088-2019-64-4-173-177.
3. Asfaw Y., Tsuduku S., Konishi M., Murakami K., Tsuboi T., Wu D. et al. Distribution and superinfection of bovine leukemia virus genotypes in Japan // Archives of Virology. 2005. No. 150. Pp. 493–505.
4. Bartlett P. C., Ladronka R. M., Ruggiero V. J., Hutchinson H. What dairy veterinarians should know about bovine leukemia virus // Bovine Practitioner. 2018. No. 52 (1). Pp. 1–7.
5. Beier D., Blankenstein P., Marquardt O., Kuzmak J. Identification of different BLV provirus isolates by PCR, RFLPA and DNA sequencing // Berl Munch Tierarztl Wochenschr. 2001. Vol. 114. No. 7-8. Pp. 252–256.
6. Chen Y. C., Chin W. Y., Chang C. C., Chuang S. T., Hsu W. L. Potential Risk Factors Associated with Infection with Bovine Leukaemia Virus in Dairy and Beef Cattle in Taiwan // Pathogens. 2021. No. 10 (12). Article number 1553. DOI: 10.3390/pathogens10121553.
7. Fechner H., Blankenstein P., Looman A. C., Elwert J., Geue L., Albrecht C. et al. Provirus variants of the bovine leukemia virus and their relation to the serological status of naturally infected cattle // Virology. 1997. Vol. 237. No. 2. Pp. 261–269.
8. Frie M. C., Coussens P. M. Bovine leukemia virus: a major silent threat to proper immune responses in cattle // Veterinary Immunology and Immunopathology. 2015. Vol. 163 (3-4). Pp. 103–114. DOI: 10.1016/j.vetimm.2014.11.014.
9. Kuczewski A., Adams C., Lashewicz B., van der Meer F. Alberta dairy farmers' and veterinarians' opinion about bovine leukemia virus control measures // Preventive Veterinary Medicine. 2022. Vol. 200. Article number 105590. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2022.105590.
10. LaDronka R. M., Ainsworth S., Wilkins M. J., Norby B., Byrem T. M., Bartlett P. C. Prevalence of bovine leukemia virus antibodies in US dairy cattle // Veterinary Medicine International. 2018. Vol. 2018. DOI: 10.1155/2018/5831278.
11. Enzootic Bovine Leukosis Disease situation [e-resource]. URL: <https://wahis.woah.org/#/dashboards/country-or-disease-dashboard> (date of reference: 13.06.2022).
12. Pavliscak L. A., Nirmala J., Singh V. K., Sporer K. R. B., Taxis T. M., Kumar P., Goyal S. M., Mor S. K., Schroeder D. C., Wells S. J., Droscha C. J. Tracing Viral Transmission and Evolution of Bovine Leukemia Virus through Long Read Oxford Nanopore Sequencing of the Proviral Genome // Pathogens. 2021. Vol. 10 (9). Article number 1191. DOI: 10.3390/pathogens10091191.
13. Petropavlovskiy M. et al. Epizootiological and genetic characterization of the bovine leukemia virus in the Russian Federation – evaluation of bovine leukemia virus in Russia // Veterinary Archives. 2019; 89: 785–798.
14. Petropavlovskiy M. V., Vereshchak N. A., Bezborodova N. A., Oparina O. Yu. Immuno-biological evaluation of individual genetic variants of bovine leukemia virus in the conditions of the Ural region // Digital agriculture – development strategy: proceedings of the International Scientific and Practical Conference (ISPC 2019). Advances in Intelligent Systems Research. Ekaterinburg, 2019. Pp. 372–377.

15. Pluta A., Rola-Łuszczak M., Kubis P., Balov S., Moskalik R., Choudhury B., Kuzmak J.. Molecular characterization of bovine leukemia virus from Moldovan dairy cattle. *Archives of Virology*. 2018. Vol. 162. No. 6. Pp. 1563–1576.
16. Polat M., Takeshima S., Aida Y. Epidemiology and genetic diversity of bovine leukemia virus // *Virology Journal*. 2017. Vol. 14. Article number 209. DOI: 10.1186/s12985-017-0876-4.
17. Rice N. R., Stephens R. M., Couez D., Deschamps J., Keltmann R., Burny A. et al. The nucleotide sequence of the env gene and the post-env region of bovine leukemia virus // *Virology*. 1984. Vol. 138. Pp. 82–93.
18. Rola-Łuszczak M., Pluta A., Olech M., Donnik I., Petropavlovskiy M., Gerilovych A. et al. The molecular characterization of bovine leukemia virus isolates from Eastern Europe and Siberia and its impact on phylogeny // *PLoS One*. 2013. Vol. 8. No. 3. Article number e58705. DOI: 10.1371/journal.pone.0058705.
19. Ruggiero V. J., Bartlett P. C. Control of Bovine Leukemia Virus in Three US Dairy Herds by Culling ELISA-Positive Cows // *Veterinary Medicine International*. 2019. Article number 3202184. DOI: 10.1155/2019/3202184.
20. Sultanov A., Rola-Łuszczak M., Mamanova S., Ryło A., Osiński Z., Saduakassova M. A., Bashenova E., Kuźmak J. Molecular Characterization of Bovine Leukemia Virus with the Evidence of a New Genotype Circulating in Cattle from Kazakhstan // *Pathogens*. 2022. Vol. 11 (2). Article number 180. DOI: 10.3390/pathogens11020180.
21. Suzuki A., Chapman R., Douglass N., Carulei O., van Rensburg J., Williamson A. L. Phylogenetic Analysis of South African Bovine Leukaemia Virus (BLV) Isolates. *Viruses*. 2020. Vol. 12. No. 8. Article number 898. DOI: 10.3390/v12080898.
22. Enzootic bovine leucosis [e-resource] // In: OIE Terrestrial Manual 2018. Chap 3.4.9. Pp. 1113–1124. URL: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.04.09_EBL.pdf (date of reference: 13.06.2022).
23. Yang, Y., Chen, L., Dong, M. et al. Molecular characterization of bovine leukemia virus reveals existence of genotype 4 in Chinese dairy cattle. *Virology Journal*. 2019. Vol. 16. Article number 108. DOI: 10.1186/s12985-019-1207-8.
24. Zhao X., Buehring G. Natural genetic variations in bovine leukemia virus envelope gene: possible effects of selection and escape // *Virology*. 2007. Vol. 366. Pp. 150–165.

Authors' information:

Maksim V. Petropavlovskiy¹, candidate of veterinary sciences, senior researcher, ORCID 0000-0002-9892-6092, AuthorID 676746; +7 902 877-46-57, petropavlovsky_m@mail.ru

Irina M. Donnik¹, academician of the Russian academy of sciences, doctor of biological sciences, chief researcher, ORCID 0000-0002-8593-7470, AuthorID 313786; ktqrjp7@yandex.ru

Natalya A. Bezborodova¹, candidate of veterinary sciences, senior researcher, ORCID 0000-0003-2793-5001, AuthorID 665979; n-bezborodova@mail.ru

Anatoliy M. Kovalenko², doctor of veterinary sciences, professor, ORCID 0000-0002-7219-4049, AuthorID 345276; mycobacteria@rambler.ru

Svetlana N. Belyaeva², candidate of biological sciences, associate professor, ORCID 0000-0002-2181-6899, AuthorID 1078572; belysveta2@yandex.ru

¹Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

²Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, Mayskiy, Russia

Феногеогеография популяций сосны обыкновенной Якутии и Приамурья

С. Н. Санников¹, И. В. Петрова¹, О. Е. Черепанова¹✉

¹ Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

✉ Email: botgarden.olga@gmail.com

Аннотация. Для сохранения биологического разнообразия необходимо понимание генетической структуры популяций основных видов древесных растений, поскольку это дает наиболее полное представление о явлениях полиморфизма, изменчивости и гибридизации, что позволяет обнаружить генетически и фенотипически различимые подвиды. Полученная информация поможет определить оптимальные условия обитания и охраны промышленно ценных хвойных бореальных видов (например, *Pinus sylvestris* L.). **Целью** исследования являлось проведение аллозимного анализа 10 популяций *P. sylvestris* на территории Якутии и Приамурья. Одной из проблем популяционной биологии древесных растений является определение феногенетической дифференциации растений в пределах всего ареала. В связи с этим для данного исследования были выбраны ландшафтно-гетерогенные аллювиальные равнины Якутии, а также дополнительно Нагорье Приамурья, отделенные Становым хребтом. **Результаты.** Был обнаружен гораздо меньший полиморфизм, а также значительно более резкая дифференциация популяций сосны Приамурья (уровень географической расы) от популяций Якутии, у которых уровень дифференциации не превысил порога географических групп. Показаны значительные различия между популяциями Якутии и Приамурья по дистанциям Махаланобиса, рассчитанных на основании 19 морфологических признаков шишек. Между дистанциями Махаланобиса (D^2) и генетическими дистанциями Нея (D_{N78}) получена положительная линейная зависимость ($R^2 = 0.4159$). **Научная новизна.** Обнаружена доминантная роль в происхождении якутских популяций *P. sylvestris* трех сибирских группово-постепенных рубок (ГПР) – Тынды, Романовки, Иркутска – и уменьшение генетического сходства ГПР по мере их удаления от Якутии. Удалось статистически подтвердить региональное подразделение аллелофонда популяций *P. sylvestris* Якутии на группы, одна из которых – западная (Витим, Вилюйск), вторая приурочена к обширной (возможно, миграционной) области бассейнов рек Лены и Алдана.

Ключевые слова: Якутия, Приамурье, *P. sylvestris*, популяция, географическая дифференциация, генетическая дистанция, дистанции Махаланобиса.

Для цитирования: Санников С. Н., Петрова И. В., Черепанова О. Е. Феногеогеография популяций сосны обыкновенной Якутии и Приамурья // Аграрный вестник Урала. 2022. Спецвыпуск «Биология и биотехнологии». С. 44–57. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-44-57.

Дата поступления статьи: 05.08.2022, **дата рецензирования:** 07.09.2022, **дата принятия:** 29.09.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Вопросы популяционной биологии древесных видов растений не теряют своей актуальности. Наиважнейшим является изучение их феногеогеографической дифференциации в пределах ареалов, в частности, сосны обыкновенной (*P. sylvestris*) [1, с. 283; 2, с. 111; 3, с. 389; 4, с. 1201; 5, с. 1215; 6, с. 274; 7; 8, с. 41; 9, с. 16]. В этом плане гетерогенные аллювиальные равнины Якутии и Нагорья Приамурья, которые изолированы Становым хребтом, представляются наиболее интересными объектами для изучения.

Цель нашей работы заключалась в сравнительном анализе аллозимной и фенотипической струк-

туры и дифференциации популяций Якутии и Приамурья. Итоги нашей исследовательской работы могут быть заимствованы для проработки мер по селекционному и лесосеменному районированию, организации охраны генофонда естественных популяций, включая и проведение дальнейших исследований популяционно-генетической структуры основных лесобразующих видов [10, с. 1914]. Изучение популяционно-генетической структуры остается первоочередной задачей, в результате решения которой возможно успешное выявление степени генетического, а также и фенотипического полиморфизма, выявление в ареале генетически разнородных популяций – их географических групп, рас

и подвидов [11, с. 4; 12, с. 2; 13, с. 1079; 14, с. 14; 15, с. 6; 16, с. 2; 17, с. 8; 18, с. 467; 19, с. 6; 20, с. 87]. Разработка популяционной, таксономической фенотипической структуры видов является научной основой для сохранения разнообразия генофонда и последующего его рационального использования.

P. sylvestris – широко распространенный вид семейства *Pinaceae*. Растение представляет собой дерево высотой до 25–40 м и 0,5–1,2 м в диаметре [21, с. 51]. Крона изменчива, приобретает разнообразную форму.

Шишки длиной 3–6 см, конической формы, симметричные или почти симметричные, созревают в ноябре – декабре, через 20 месяцев после опыления, раскрываются в феврале – апреле и опадают вскоре после осыпания семян. Чешуйки ромбической формы, от плоских до выпуклых, редко крючковатые (с полным диапазоном вариаций между ними), с мелкой остроконечной дорсальной макушкой. Семена черные длиной 4–5 мм с крылом 12–20 мм. На основании окраски семенных чешуй были выделены разнообразные морфологические формы сосны [22].

Существует несколько вариантов данного вида. Вариация *sylvestris* встречается в Европе от Шотландии и Испании на восток и через Северную Азию почти до побережья Тихого океана. В Северной Евразии – на высоте до 1000 м от уровня моря, в Южной Европе только выше 500 м в горах и до 2400 м в испанской Сьерра-Неваде. Отсутствует в восточных прибрежных районах Сибири, редко и локально встречается в северо-восточной Сибири.

Вариант *hamata* отличается главным образом химическим составом смолы. Как правило, имеет более выраженные крючковидные апофизы, чем обычно. Зимой листья остаются более ярко-синезелеными. Данная вариация берет свое начало с Балканского полуострова, севера Турции и юго-западного Закавказья. Произрастает на высоте 500–2600 м.

Вариация *mongolica* отличается тем, что ее шишки более густо покрыты смолой, но не на всех деревьях это видно. Листья имеют тенденцию быть более тусклой, менее голубоватой и более серо-зеленой, а зимой даже желто-серой. Район распространения на высоте 300–2000 м над уровнем моря, охватывает Монголию, Северо-Западный Китай, Южную Сибирь, включая значительную территорию в Забайкалье. Часто отмечается на сухих склонах или песчаных почвах.

Вариация *lapponica* характеризуется более короткими, более долгоживущими листьями (5–9 лет). Основные морфологические параметры этой вариации значительно перекрываются, что вызывает сложности в детектировании образцов. Отмечена в Норвегии, Швеции, Финляндии и на прилегающих территориях РФ к северу от 65° с. ш. [22].

Виды рода *Pinus* довольно часто образуют фертильные гибриды, в связи с чем ведется много работ по генетической идентификации новых подвидов и вариаций. Например, в 2005 г. проводилось исследование представителей *P. sylvestris*, *P. mugo* и их гибридов. Было установлено, что гибридные семена *P. sylvestris* × *P. mugo* обладают более высоким потенциалом всхожести, чем семена от самоопыления, контролируемого внутривидового скрещивания и открытого опыления [23, с. 132].

На данный момент известен гибрид *P. funebris* (сосна погребальная), который получен при скрещивании *P. sylvestris* и *P. densiflora*. От сосны обыкновенной гибриды дифференцируются по следующим параметрам: заостренные конусовидные и узкие почки, мутноватое положение ланцетных чешуй, которые отворачиваются к основанию почки и имеют красновато-золотисто-коричневый цвет, окаймленный край редко бахромчатый. Признаками, объединяющие гибрид с сосной обыкновенной, являются хвоинки с небольшим килем внизу и белыми устьичными полосками, пленчатые края почечных чешуй, шиповатость кля профилов.

P. funebris и *P. densiflora* объединяет строение вегетативных органов. Чешуи почек имеют ланцетную или узколанцетную форму, они тесно сближены друг с другом, образуя тем самым подобие мутноватки. Также чешуи брахибластов сильно сближены друг с другом. Но при этом сосна погребальная отличается более светлыми оттенками почечных чешуй, чешуевидных листьев в основании пучков хвои. Закругленное основание кля профилов у сосны погребальной имеет шиповатый край, основание его закруглено, а у *P. densiflora* – край городчатый, основание обрублено. В целом сосна погребальная морфологически содержит признаки обоих видов *P. sylvestris* и *P. densiflora*, но к последнему виду *P. funebris* стоит ближе [24, с. 43].

Сосна используется как строевой материал, также из нее добывают деготь, смолу, скипидарное масло, канифоль. Сладкая сочная заболонь в некоторых местах Сибири используется в пищу. Эфирные масла сосны применяются в косметологии, а также в качестве индикатора загрязнения окружающей среды [25, с. 127].

Методология и методы исследования (Methods)

Основным методическим подходом, включая и ряд оригинальных методов, был сравнительный анализ популяционных выборок *P. sylvestris* на территории Якутии и Приамурья (рис. 1). В ходе реализации поставленных задач был выполнен аллозимный анализ в 10 популяционных выборках, включающий 500 деревьев, также анализ 23 морфологических признаков шишек. К 10 популяциям добавились еще 2 популяции, изученные по морфологическим признакам шишек: Отважный и Жиганск (таблица 1). В анализе использовали наи-

более консервативные и стабильные количественные фенотипические маркеры ($D_{ш}$ – длина шишки; $D_{м}$ – длина шишки от самого широкого места до основания; $D_{м}/D_{ш}$ – относительная длина шишки; $Ш_з$ – ширина закрытой шишки; $Ш_р$ – ширина раскрытой шишки; $Ш_з/D_{ш}$ – относительная ширина закрытой шишки; $Ш_р/D_{ш}$ – относительная ширина раскрытой шишки; $Ч_ч$ – число чешуй; $D_{ч1}$ – длина чешуи из самого широкого места шишки; $Ш_{ч1}$ – ширина чешуи из самого широкого места шишки; $Ш_{ч1}/D_{ч1}$ – относительная ширина чешуи; $D_{ч2}$ – длина самой крупной чешуи у основания шишки; $Ш_{ч2}$ – ширина самой крупной чешуи у основания шишки; $C_к$ – длина семени, включая крылатку; $D_с$ – длина семени, исключая крылатку; $Ш_с$ – ширина семени; $Ш_с/D_с$ – относительная ширина семени; $D_к$ – длина только крылатки; $Ш_к$ – ширина только крылатки; $C_с$ – число семян; $C_{сп}$ – число спелых семян; $C_{п}$ – число пустых семян; $C_{н}$ – число недоразвитых семян), признаки генеративных органов – используются для оценки внутривидовой изменчивости у хвойных древесных видов [26, с. 181; 27, с. 421; 28, с. 92; 29, с. 111].

Для анализа структуры аллозимов брали наиболее крупные вегетативные почки с побегов. Анализ же проводился нами по ранее широко описанным методам [30; 31, с. 256; 32, с. 219; 33] с некоторы-

ми доступными вариациями [7], в блоках вертикального полиакриламидного геля в трис-ЭДТА-боратной буферной системе по 16 белковым кодирующим локусам 10 ферментных систем (включая 14 полиморфных): алкогольдегидрогеназа – ADH (К.Ф. 1.1.1.1, 2 локуса); глутаматдегидрогеназа – GDH (К.Ф. 1.4.1.3, 1 локус); 6-фосфоглюконатдегидрогеназа – 6-PGD (1.1.1.43, 1 локус); шикиматдегидрогеназа – SKDH (К.Ф. 1.1.1.25, 2 локуса); фосфоглюкомутаза – PGM (К.Ф. 2.7.5.1, 2 локуса); диафораза – DIA (К.Ф. 1.6.4.3, 1 локус); глутаматоксалацетаттрансаминаза – GOT (К.Ф. 2.6.1.1, 3 локуса); форматдегидрогеназа – FDH (К.Ф. 1.2.1.2, 1 локус); супероксиддисмутаза – SOD (К.Ф. 1.15.1.1, 2 локуса); эстераза флюоресцентная – EST-f (К.Ф. 3.1.1.2, 1 локус) [34, с. 2], [35, с. 182]. На основании полученных данных об аллозимной структуре были рассчитаны как генетические дистанции Нея (DN_{78}), так и параметры внутривидового полиморфизма [36, с. 584; 37, с. 378; 38, с. 2]. Результаты статистически обработаны пакетом программ BYOSYS [39, с. 281]. Кластерный анализ (метод парно-групповых невзвешенных средних, UPGMA) рассчитан пакетом программ NTSYS.2.1 [40]. Генотаксономический ранг популяций присваивался на основании ранее рассчитанной шкалы геносистематической дистанций [6, с. 279].



Рис. 1. Географическое положение изученных популяций *P. sylvestris* Якутии и Приамурья
Fig. 1. The geographical position of the populations of *P. sylvestris* in Yakutia and Amur region

Таблица 1
Географические координаты популяций *P. sylvestris* Якутии и Приамурья

Название	Сокращение	Координаты		Высота над уровнем моря, м
		Широта	Долгота	
Алдан	Ал	58°37'	125°21'	681
Амга	Ам	60°55'	131°55'	211
Вилуйск	Вл	63°45'	121°39'	112
Витим	Вт	59°27'	112°33'	210
Олекминск	Ол	60°22'	120°26'	214
Якутск	Як-1	62°05'	129°38'	207
Усть-Мая	Ум	60°25'	134°32'	172
Нижний Цасучей	НЦ	50°31'	115°07'	612
Архара	Ар	49°25'	130°04'	161
Отважный	От	49°21'	130°06'	126
Жиганск	ЖГ	66°46'	123°22'	71
Тында	Тнд	55°09'	124°43'	547
Нерюнгри	Нер	56°39'	124°43'	850
Свободный	Св	51°23'	128°08'	190

Примечание. N – количество деревьев.

Table 1
The geographical position of the populations of *P. sylvestris* in Yakutia and Amur region

Sample name	Cipher	Geographical coordinates		Altitude, m
		Latitude	Longitude	
Aldan	Al	58°37'	125°21'	681
Amga	Am	60°55'	131°55'	211
Vilyuysk	Vl	63°45'	121°39'	112
Vitim	Vt	59°27'	112°33'	210
Olekminsk	Ol	60°22'	120°26'	214
Yakutsk	Yak1	62°05'	129°38'	207
Ust'-Maya	Um	60°25'	134°32'	172
Nizhniy Casuchey	NC	50°31'	115°07'	612
Arkharara	Ar	49°25'	130°04'	161
Otvazhnyy	Ot	49°21'	130°06'	126
Zhigansk	Zhg	66°46'	123°22'	71
Tynda	Tnd	55°09'	124°43'	547
Neryungri	Ner	56°39'	124°43'	850
Svobodnyy	Sv	51°23'	128°08'	190

Note. N – number of trees.

Таблица 2
Параметры генетического полиморфизма в выборках *P. sylvestris* Якутии и Приамурья

Популяция	N	A	P ₉₉	H _e	H _o
Якутия					
Якт1	47,9	2,4 ± 0,3	75,0	0,29 ± 0,06	0,30 ± 0,06
Якт2	46,0	2,2 ± 0,3	68,8	0,31 ± 0,06	0,29 ± 0,06
Олк	39,3	2,4 ± 0,3	75,0	0,28 ± 0,06	0,29 ± 0,06
Влк	46,9	2,3 ± 0,3	68,8	0,28 ± 0,06	0,28 ± 0,06
Втм	47,8	2,5 ± 0,3	75,0	0,29 ± 0,06	0,29 ± 0,06
Алд	47,8	2,4 ± 0,3	81,3	0,26 ± 0,05	0,27 ± 0,06
Амг	47,9	2,1 ± 0,3	68,8	0,29 ± 0,06	0,29 ± 0,06
УМ	47,8	2,1 ± 0,2	75,0	0,26 ± 0,05	0,27 ± 0,05
Mx ± t	46,4 ± 2,9	2,3 ± 0,15	73,5 ± 4,4	0,28 ± 0,02	0,29 ± 0,01
Приамурье					
Ар	47,9	2,2 ± 0,3	68,8	0,25 ± 0,06	0,24 ± 0,05
НЦ	43,9	2,3 ± 0,3	75,0	0,27 ± 0,06	0,27 ± 0,05
Mx ± t	45,9 ± 2,8	2,25 ± 0,07	71,9 ± 4,4	0,27 ± 0,01	0,25 ± 0,02

Примечание. N – число образцов, A – среднее число аллелей на локус, %, H_e – ожидаемая гетерозиготность,

P₉₉ – процент полиморфных локусов (p ≤ 0.01), H_o – наблюдаемая гетерозиготность, Mx – среднее, ± t – ошибка среднего.

Шифры выборок см. в таблице 1.

Table 2
Parameters of genetic polymorphism in samples of *P. sylvestris* of Yakutia and Amur region

Population	N	A	P ₉₉	H _e	H _o
Yakutia					
Yak1	47.9	2.4 ± 0.3	75.0	0.29 ± 0.06	0.30 ± 0.06
Yak2	46.0	2.2 ± 0.3	68.8	0.31 ± 0.06	0.29 ± 0.06
Ol	39.3	2.4 ± 0.3	75.0	0.28 ± 0.06	0.29 ± 0.06
VI	46.9	2.3 ± 0.3	68.8	0.28 ± 0.06	0.28 ± 0.06
Vt	47.8	2.5 ± 0.3	75.0	0.29 ± 0.06	0.29 ± 0.06
Al	47.8	2.4 ± 0.3	81.3	0.26 ± 0.05	0.27 ± 0.06
Am	47.9	2.1 ± 0.3	68.8	0.29 ± 0.06	0.29 ± 0.06
UM	47.8	2.1 ± 0.2	75.0	0.26 ± 0.05	0.27 ± 0.05
Mx ± m	46.4 ± 2.9	2.3 ± 0.15	73.5 ± 4.4	0.28 ± 0.02	0.29 ± 0.01
Amur region					
Ar	47.9	2.2 ± 0.3	68.8	0.25 ± 0.06	0.24 ± 0.05
NC	43.9	2.3 ± 0.3	75.0	0.27 ± 0.06	0.27 ± 0.05
Mx ± m	45.9 ± 2.8	2.25 ± 0.07	71.9 ± 4.4	0.27 ± 0.01	0.25 ± 0.02

Note. N - number of trees, A - average number of alleles per locus, %, H_e - expected heterozygosity,

P₉₉ - proportion of polymorphic loci (p ≤ 0.01), H_o - observed heterozygosity, Mx - average, ± m - average error. Sample codes see in table 1.

Таблица 3
Генетические дистанции Нея (1978) между популяциями Якутии и Приамурья

	Як1	Як2	Ам	УМ	Ол	Ал	Вл	Вт	Арх	НЦ
Як1	0,000									
Як2	0,002	0,000								
Ам	0,027	0,037	0,000							
УМ	0,002	0,002	0,037	0,000						
Ол	0,007	0,003	0,023	0,007	0,000					
Ал	0,008	0,003	0,023	0,005	0,000	0,000				
Вл	0,006	0,004	0,032	0,005	0,008	0,005	0,000			
Вт	0,014	0,011	0,023	0,017	0,008	0,009	0,003	0,000		
Ар	0,033	0,035	0,018	0,041	0,020	0,021	0,032	0,026	0,000	
НЦ	0,023	0,026	0,008	0,031	0,016	0,013	0,020	0,010	0,013	0,000

Примечание. Шифры см. в таблице 1.

Table 3
The genetic distances of Ney (1978) between the populations of Yakutia and Amur Region

	Yak1	Yak2	Am	UM	Ol	Al	VI	Vt	Ar	NC
Yak1	0,000									
Yak2	0,002	0,000								
Am	0,027	0,037	0,000							
UM	0,002	0,002	0,037	0,000						
Ol	0,007	0,003	0,023	0,007	0,000					
Al	0,008	0,003	0,023	0,005	0,000	0,000				
VI	0,006	0,004	0,032	0,005	0,008	0,005	0,000			
Vt	0,014	0,011	0,023	0,017	0,008	0,009	0,003	0,000		
Ar	0,033	0,035	0,018	0,041	0,020	0,021	0,032	0,026	0,000	
NC	0,023	0,026	0,008	0,031	0,016	0,013	0,020	0,010	0,013	0,000

Note. Ciphers see in table 1.

Результаты (Results)

Обобщенные параметры генетического полиморфизма в выборках *P. sylvestris* Якутии и Приамурья собраны в таблице 2.

Дифференциация на статистически значимом уровне выявлена нами лишь между параметрами ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности (таблица 2). Вероятно, данный эффект можно связать с относительно высокой степенью миграционной «горно-механической» (по отношению к потокам

семян) и репродуктивной (относительно потоков пыльцы) изоляцией изученных популяций друг от друга [7], а также с антропогенной фрагментацией островных популяций *P. sylvestris* в этих регионах.

Максимальная генетическая дистанция (таблица 3) определена между популяциями Архары и Усть-Маи ($D_{N78} = 0,041$) и не превышает уровня географической расы, а минимальные значения фиксировали между Алданом и Олекминском.

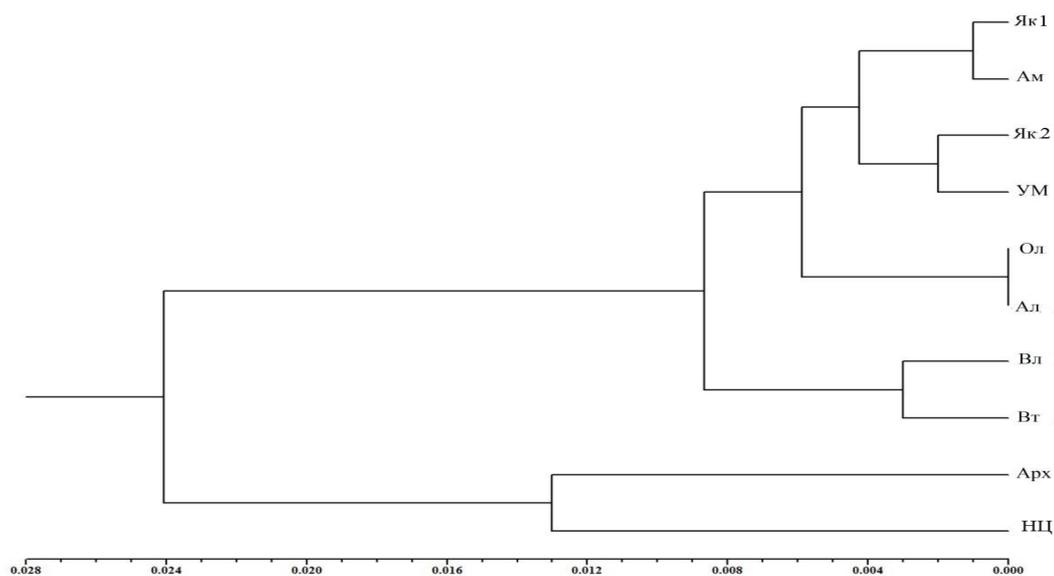


Рис. 2. Дендрограмма генетических дистанций Нея (1978) между популяциями *P. sylvestris*, произрастающими в Якутии и Приамурье

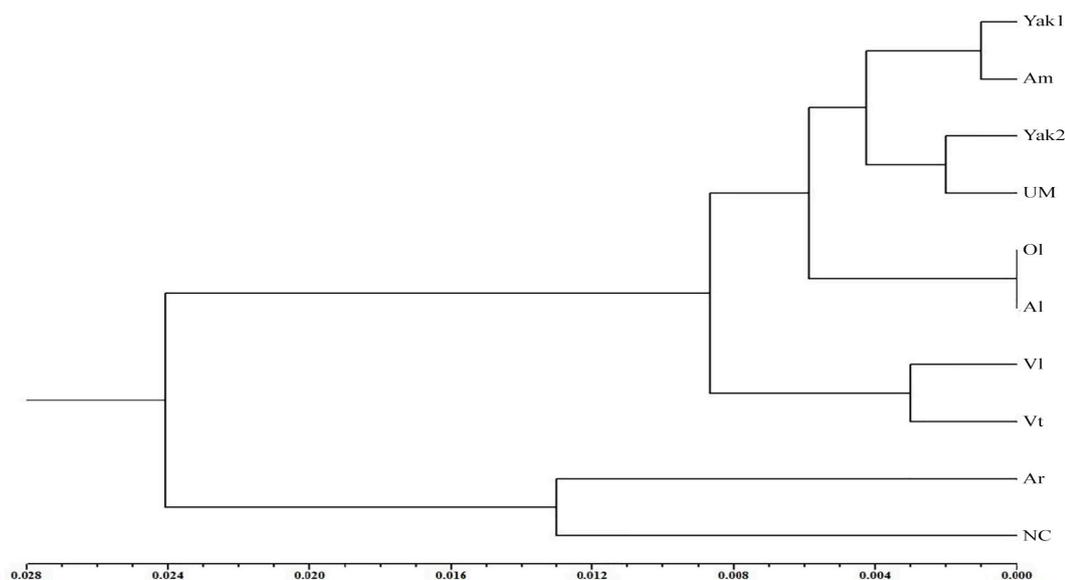


Fig. 2. Dendrogram of the genetic distances of Ney (1978) between the populations of *P. sylvestris* of Yakutia and Amur region

Диаграмма, построенная с использованием данных о генетических дистанциях Нея D_{N78} (рис. 2, таблица 3), иллюстрирует четкое – в ранге географических рас ($D_{N78} = 0,041$) – разбиение на две самостоятельные группы: популяции Якутии и популяции Приамурья (с опорой на значения t -критерия зафиксированные различия статистически значимы, $p < 0,05$). Отметим, что вторая группа популяций также достаточно точно подразделяется (на уровне $D_{N78} = 0.017$) на центрально-восточную (Якутск, Амга, Усть-Мая, Олекминск, Алдан) и северо-западную части Якутии (Вилуйск, Витим).

В таблице 4 приведены фенологические расстояния Махаланобиса между всеми изученными популяциями сосны Якутии и Приамурья (таблица 4).

Максимальная дистанция Махаланобиса (538) найдена между Нижним Цасучеем и Алданом, минимальная – между Амгой и Алданом (7). Выявленные значительные морфологические различия обусловлены зонально-климатическими и почвенными различиями Якутии и Приамурья (по длине вегетативного периода, теплообеспечению, гумусованию почв и т. д.). Фенотипические градиенты между популяциями *P. sylvestris* наблюдаются также, например, и между Украинскими Карпатами и Болгарией [7].

Таблица 4
Дистанции Махаланобиса между популяциями Якутии и Приамурья

	Як1	Як2	Ол	Вл	Ал	Ам	Вт	УМ	ЖГ	Ар	От	НЦ
Як1	0,000	12,23	14,60	91,82	99,79	95,21	60,14	23,43	21,53	225,0	216,2	319,9
Як2	12,23	0,000	19,22	114,4	119,4	119,5	53,66	38,87	46,84	272,1	264,0	375,1
Ол	14,60	19,22	0,000	81,05	76,79	71,93	52,45	22,91	44,27	259,4	245,4	350,7
Вл	91,82	114,4	81,05	0,000	12,70	10,16	94,58	84,94	84,33	447,7	409,5	517,3
Ал	99,79	119,4	76,79	12,70	0,000	6,50	84,97	75,09	100,8	469,2	427,5	537,8
Ам	95,21	119,5	71,93	10,16	6,502	0,000	92,44	76,76	94,06	460,7	419,4	528,3
Вт	60,14	53,66	52,45	94,58	84,97	92,44	0,000	26,26	85,84	365,0	349,6	455,8
УМ	23,43	38,87	22,91	84,94	75,09	76,76	26,26	0,000	45,69	273,7	258,9	365,6
ЖГ	21,53	46,84	44,27	84,33	100,8	94,06	85,84	45,69	0,000	290,0	277,0	370,2
Ар	225,0	272,1	259,4	447,7	469,2	460,7	365,0	273,7	290,9	0,00	8,48	65,4
От	216,2	264,0	245,4	409,5	427,5	419,4	349,6	258,9	277,0	8,48	0,00	46,0
НЦ	319,9	375,1	350,7	517,3	537,8	528,3	455,8	365,6	370,2	65,43	46,0	0,00

Table 4
Mahalanobis distance between populations of Yakutia and Amur region

	Yak1	Yak2	Ol	VI	Al	Am	Vt	UM	Zhg	Ar	Ot	NC
Yak1	0.000	12.23	14.60	91.82	99.79	95.21	60.14	23.43	21.53	225.0	216.2	319.9
Yak2	12.23	0.000	19.22	114.4	119.4	119.5	53.66	38.87	46.84	272.1	264.0	375.1
Ol	14.60	19.22	0.000	81.05	76.79	71.93	52.45	22.91	44.27	259.4	245.4	350.7
VI	91.82	114.4	81.05	0.000	12.70	10.16	94.58	84.94	84.33	447.7	409.5	517.3
Al	99.79	119.4	76.79	12.70	0.000	6.50	84.97	75.09	100.8	469.2	427.5	537.8
Am	95.21	119.5	71.93	10.16	6.502	0.000	92.44	76.76	94.06	460.7	419.4	528.3
Vt	60.14	53.66	52.45	94.58	84.97	92.44	0.000	26.26	85.84	365.0	349.6	455.8
UM	23.43	38.87	22.91	84.94	75.09	76.76	26.26	0.000	45.69	273.7	258.9	365.6
Zhg	21.53	46.84	44.27	84.33	100.8	94.06	85.84	45.69	0.000	290.0	277.0	370.2
Ar	225.0	272.1	259.4	447.7	469.2	460.7	365.0	273.7	290.9	0.00	8.48	65.4
Ot	216.2	264.0	245.4	409.5	427.5	419.4	349.6	258.9	277.0	8.48	0.00	46.0
NC	319.9	375.1	350.7	517.3	537.8	528.3	455.8	365.6	370.2	65.43	46.0	0.00

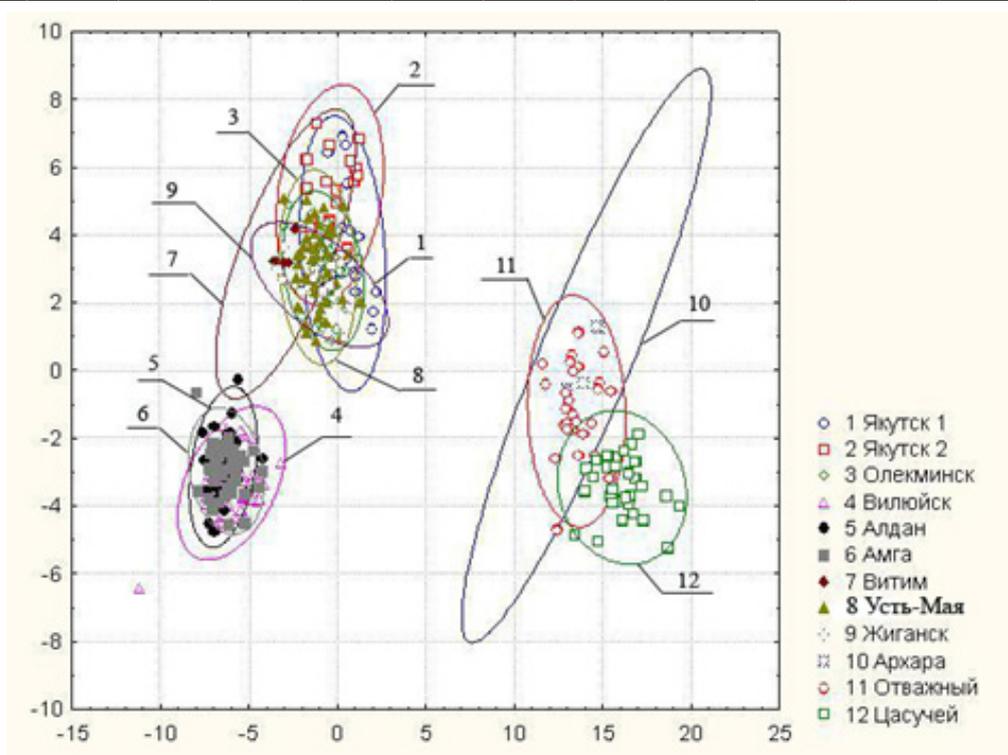


Рис. 3. Ординация дистанций Махаланобиса между популяциями Якутии и Приамурья

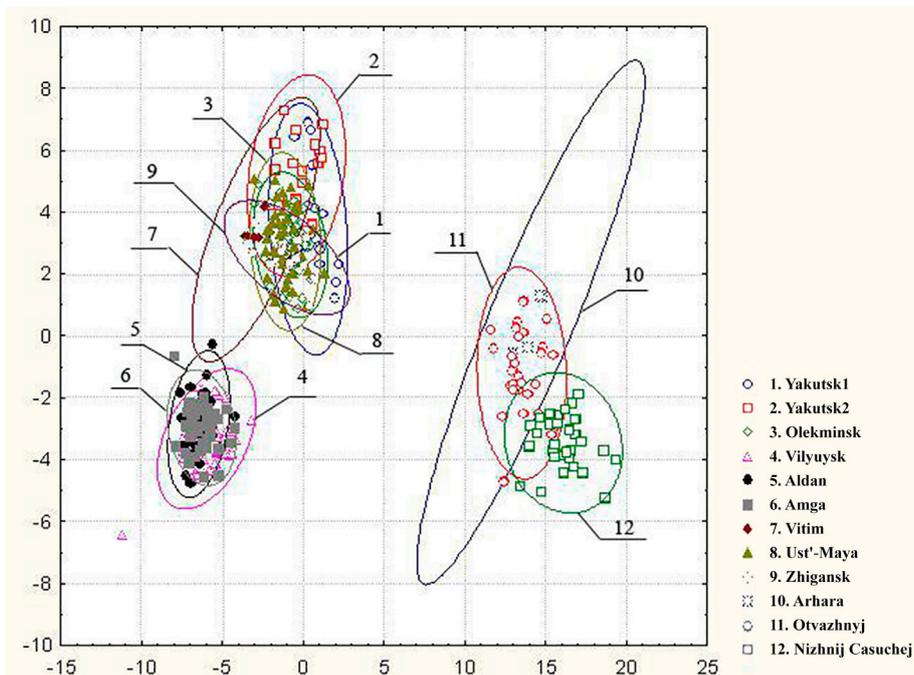


Fig. 3. Ordination of the Mahalanobis distance between the populations of Yakutia and Amur region

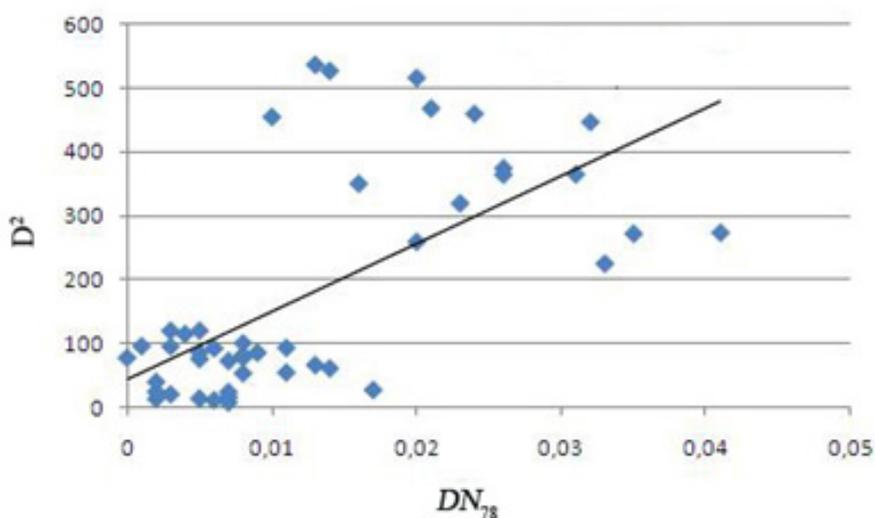


Рис. 4. Линейная зависимость между дистанциями Махаланобиса (D^2) и генетическими дистанциями Нея (1978)
Fig. 4. The linear relationship between the Mahalanobis distance (D^2) and the genetic distances of Ney (1978)

На двумерной диаграмме рассеивания, основанной на результатах анализа изменчивости фенотипических признаков шишки (рис. 3), визуализируется распад якутских популяций сосны на следующие группы: первая объединяет Вилюйск, Алдан, Амга, а вторая – Якутск, Олекминск, Витим, Усть-Мая и Жиганск. Выборки из Приамурья (Архара, Отважный, Цасучей) обособляются в отдельную группу. Географически представленные популяции сосны изолированы от остальных.

Таким образом, как полученные дистанции Нея, так и дистанции Махаланобиса показывают существенные различия между популяциями сосны Якутии и Приамурья.

Регрессионный анализ связи между дистанциями Махаланобиса (D^2) и генетическими дистанциями Нея (D_{N78}) выявил также положительную линейную зависимость $y = 10609x + 43,407$, $R^2 = 0,4159$ (рис. 4), $p < 0,005$. Аналогичная связь была выявлена для Украинских Карпат и Русской равнины [7].

Градиенты генетических дистанций (ГГД) на трансекте Свободный – Тынды – Нерюнгри – Олекминск – Вилюйск свидетельствуют, что максимальная ($4,03 \cdot 10^{-5}$) дифференциация в зоне Станового хребта между Тындой и Нерюнгри (рис. 5).

В результате анализа, очевидна доминантная роль в происхождении якутских популяций *P. sylvestris* трех сибирских ГПР – Тынды, Романовки, Иркутска и уменьшение генетического сходства ГПР по мере их удаления от Якутии (рис. 6).

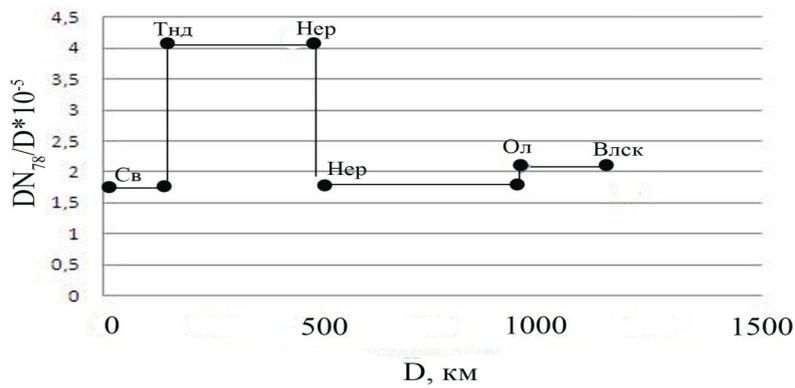


Рис. 5. Градиенты генетических дистанций для D_{N78} на трансекте Свободный – Вилюйск. Примечание: см. шифры популяций в таблице 1

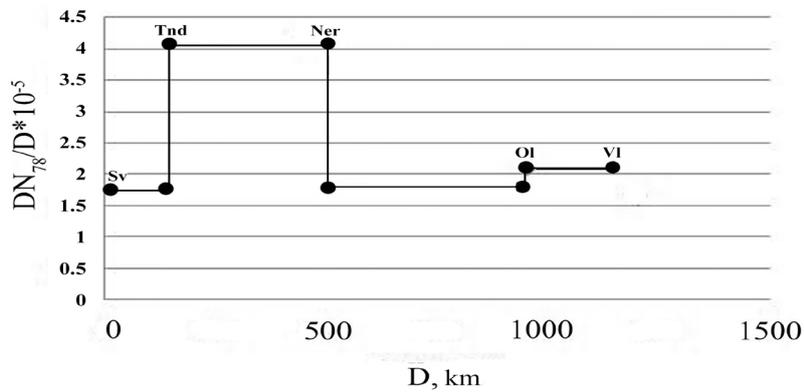


Fig. 5. Gradients of genetic distances for D_{N78} on the Svobodny – Vilyuisk transect. Note: see population ciphers in table 1

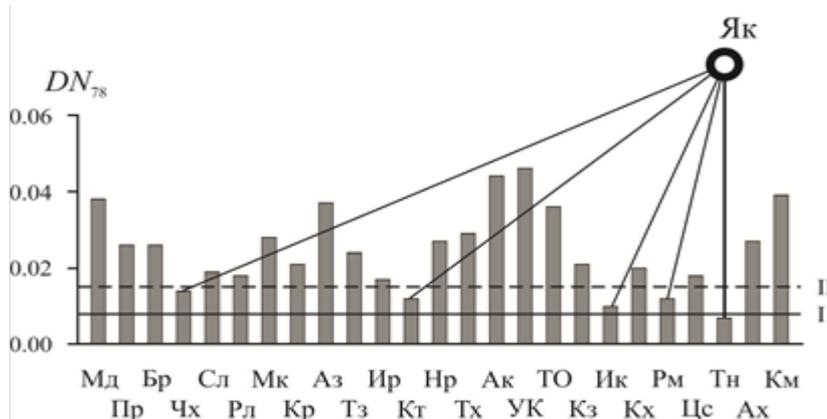


Рис. 6. Выявление гипотетических плейстоценовых рефугиумов якутской географической группы популяций *P. sylvestris* первого (I) и второго (II) рангов

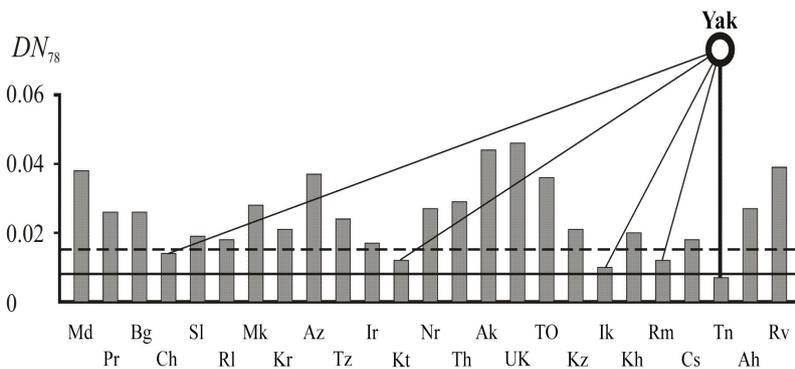


Fig. 6. Identification of hypothetical Pleistocene refugiums Yakuts geographic group of populations *P. sylvestris* of the first (I) and second (II) ranks

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. Аллозимный анализ 10 популяций *P. sylvestris* L. 2 физико-географических стран Якутии и Приамурья выявил меньший полиморфизм и наиболее резкое обособление приамурских популяций (уровень географической расы) от якутских популяций, дифференцированных на уровне не выше географических групп. Зафиксировали статистически значимое краевое обособление групп якутских популяций на западную (Витим, Вилюйск) и оставшиеся популяции, которые приобщены к обширной (по-видимому, миграционной) акватории речных бассейнов Алдана и Лены.

2. Приведены значимые различия между якутскими и приамурскими популяциями согласно дистанциям Махаланобиса, рассчитанным по 23 при-

знакам шишек ($D^2 = 537.8$, между Алданом и Нижним Цасучеем), 19 из которых оказались наиболее информативны.

3. Между дистанциями Махаланобиса (D^2) и генетическими дистанциями Нея (D_{N78}) выявлена положительная линейная зависимость ($R^2 = 0,4159$).

4. По градиентам генетических дистанций (ГГД) на трансекте Свободный – Тында – Нерюнгри – Олекминск – Вилюйск видно, что наибольший их перепад ($4,03 \cdot 10^{-5}$) наблюдается при пересечении Станового хребта между Тындой и Нерюнгри.

5. В целом очевидна доминантная роль в происхождении якутских популяций *P. sylvestris* трех сибирских ГПР – Тынды, Романовки, Иркутска – и уменьшение генетического сходства ГПР по мере их удаления от Якутии.

Библиографический список

1. Calleja-Rodriguez A. et al. Analysis of phenotypic-and Estimated Breeding Values (EBV) to dissect the genetic architecture of complex traits in a Scots pine three-generation pedigree design // Journal of Theoretical Biology. 2019. Vol. 462. Pp. 283–292. DOI: 10.1016/j.jtbi.2018.11.007.
2. Korshykov I. I. et al. Genetic variability of maternal plants and embryos of their seeds in the populations of *Pinus kochiana* Klotzsch ex Koch in Crimea // Cytology and Genetics. 2016. Vol. 50. No. 2. Pp. 110–115. DOI: 10.3103/S0095452716020079.
3. Sannikov S. N., Egorov E. V. Alternative ways of *Pinus sylvestris* L. migration from Southern Siberia to Europe and Asia Minor // Biology Bulletin. 2015. Vol. 42. No. 5. Pp. 387–393. DOI: 10.1134/S1062359015050118.
4. Semerikov V. L. et al. Development of new mitochondrial DNA markers in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for population and phylogeographic studies // Russian journal of genetics. 2015. Vol. 51. No. 12. Pp. 1199–1203. DOI: 10.1134/S1022795415120108.
5. Vidyakin A. I. et al. Genetic variation, population structure, and differentiation in scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from the northeast of the Russian plain as inferred from the molecular genetic analysis data // Russian journal of genetics. 2015. Vol. 51. No. 12. Pp. 1213–1220. DOI: 10.1134/S1022795415120133.
6. Санников С. Н., Петрова И. В. Филогенгеография и генотаксономия популяций вида *Pinus sylvestris* L. // Экология. 2012. № 4. С. 252–260. DOI: 10.1134/S1067413612040145.
7. Санников С. Н., Петрова И. В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 247 с.
8. Путенихин В. П. Популяционная структура и сохранение генофонда хвойных видов на Урале: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.03.01. Красноярск, 2000. 48 с.
9. Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. Москва: Наука, 1964. 161 с.
10. Sannikov S. N. et al. The forecast of fire impact on *Pinus sylvestris* renewal in southwestern Siberia // Journal of Forestry Research. 2021. Vol. 32. No. 5. Pp. 1911–1919. DOI: 10.1007/s11676-020-01260-1.
11. Santini F. et al. Morpho-physiological variability of *Pinus nigra* populations reveals climate-driven local adaptation but weak water use differentiation // Environmental and Experimental Botany. 2019. Vol. 166. Article number 103828. Pp. 1–36. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2019.103828.
12. Olsson S. et al. Evolutionary relevance of lineages in the European black pine (*Pinus nigra*) in the transcriptomic era // Tree Genetics & Genomes. 2020. Vol. 16. No. 2. Pp. 1–10. DOI: 10.1007/s11295-020-1424-8.
13. Urbaniak L. et al. Genetic resources of relict populations of *Pinus sylvestris* (L.) in Western Carpathians assessed by chloroplast microsatellites // Biologia. 2019. Vol. 74. No. 9. Pp. 1077–1086. DOI: 10.2478/s11756-019-00255-6.
14. Pyhäjärvi T., Kujala S. T., Savolainen O. 275 years of forestry meets genomics in *Pinus sylvestris* // Evolutionary Applications. 2020. Vol. 13. No. 1. Pp. 1–67. DOI: 10.1111/eva.12809.
15. Vasilyeva Y. et al. Genetic Structure, Differentiation and Originality of *Pinus sylvestris* L. Populations in the East of the East European Plain // Forests. 2021. Vol. 12. No. 8 (999). Pp. 1–11. DOI: 10.3390/f12080999.
16. Şofletea N. et al. Genetic diversity and spatial genetic structure in isolated scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations native to eastern and southern carpathians // Forests. 2020. Vol. 11. No. 10 (1047). Pp. 1–15. DOI: 10.3390/f11101047.

17. Przybylski P. et al. Conservation of Genetic Diversity of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in a Central European National Park Based on cpDNA Studies // *Diversity*. 2022. Vol. 14. No. 2 (93). Pp. 1–11. DOI: 10.3390/d14020093.
18. Yanbaev Y. et al. Gene pool of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under reforestation in extreme environment // *Wood Research*. 2020. Vol. 65. Pp. 459–470. DOI: 10.37763/wr.1336-4561/65.3.459470.
19. Przybylski P. et al. Relationships between Some Biodiversity Indicators and Crown Damage of *Pinus sylvestris* L. in Natural Old Growth Pine Forests // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. No. 3 (1239). Pp. 1–14. DOI: 10.3390/su13031239.
20. González Díaz P. Development and maintenance of genetic diversity in Scots pine, *Pinus sylvestris* (L.). UK: University of Stirling, 2018. 216 p.
21. Соколов А. И. [и др.] Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2015. № 6 (348). С. 46–56.
22. *Pinus sylvestris* [e-resource] // The Gymnosperm database. URL: https://www.conifers.org/pi/Pinus_sylvestris.php (date of reference: 20.08.2022).
23. Kormutak A. et al. Artificial hybridization of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus mugo* Turra // *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 2005. Vol. 47. No. 1. Pp. 129–134.
24. Орлова Л. В. О сосне погребальной (*Pinus funebris* Kom., Pinaceae) // *Turczaninowia*. 1999. Т. 2. № 2. С. 41–45.
25. Lehtiö H. Effect of air pollution on the volatile oil in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Silva Fennica*. 1981. Vol. 15. No. 2. Pp. 122–129.
26. Видякин А. И. Фены лесных древесных растений: выделение, масштабирование и использование в популяционных исследованиях (на примере *Pinus sylvestris* L.) // *Экология*. 2001. № 3. С. 197–202.
27. Видякин А. И. Популяционная структура сосны обыкновенной на востоке европейской части России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16. Екатеринбург, 2004. 48 с.
28. Милютин Л. И. О выделении фенотипов различного масштаба в популяциях древесных растений // *Генетика природных популяций: сборник материалов III Всесоюзного совещания*. Москва, 1988. С. 92–99.
29. Путенихин В. П. Изучение популяционной структуры и сохранение генофонда лиственницы Сукачева на Южном Урале // *Лесная генетика, селекция и физиология древесных растений: материалы международного симпозиума*. Москва, 1989. С. 111–112.
30. Корочкин Л. И., Серов О. Л., Пудовкин А. И. *Генетика изоферментов*. Москва: Наука, 1977. 275 с.
31. Черепанова О. Е., Петрова И. В., Санников С. Н. Изучение аллозимной дифференциации популяций *Calluna vulgaris* (L.) Hull // *Современные методы и подходы в защите растений: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Екатеринбург, 2020. С. 256–257.
32. Sannikov S. N. et al. The Hypothesis about the Lofoten Pleistocene Refugium for *Pinus sylvestris* L. // *Russian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 50. No. 3. Pp. 218–226. DOI: 10.1134/S1067413619030123.
33. Семериков В. Л. [и др.] Электрофоретическая изменчивость белков хвои сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L // *Генетика*. 1991. Т. 27. № 9. С. 1590–1596.
34. Mollaeva M. Z. et al. Genetic differentiation of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations along the altitudinal gradient in the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria) // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2063. No. 1. Article number 030014. DOI: 10.1063/1.5087322.
35. Санников С. Н. [и др.] Поиск и выявление системы плейстоценовых рефугиумов вида *Pinus sylvestris* L. // *Экология*. 2020. № 3. С. 181–189. DOI: 10.31857/S0367059720030130.
36. Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals // *Genetics*. 1978. Vol. 89. Pp. 583–590. DOI: 10.1093/genetics/89.3.583.
37. Sannikov S. N. et al. Gradient genogeographic analysis of *Pinus sylvestris* L. populations in Europe // *Russian Journal of Ecology*. 2005. Vol. 36. No. 6. Pp. 377–382. DOI: 10.1007/s11184-005-0089-8.
38. Sannikov S. N. et al. Origin of the Atlantic Azorean insular population of *Calluna vulgaris* (L.) Hull // *Current Plant Biology*. 2019. Vol. 18. No. Pp. 1–5. Article number 100108. DOI: 10.1016/j.cpb.2019.100108.
39. Swofford D. L., Selander R. B. BIOSYS-1: A FORTRAN program for the comprehensive analysis of electrophoretic data in population genetic and systematic // *Heredity*. 1981. Vol. 72. Pp. 281–283. DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a109497.
40. Sneath P. H., Sokal R. R. *Numerical taxonomy*. San Francisco: W.H. Freeman and Co., 1973. 573 p.

Об авторах:

Станислав Николаевич Санников¹, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории популяционной биологии растений и динамики леса, ORCID 0000-0003-2547-9583, AuthorID 79925

Ирина Владимировна Петрова¹, доктор биологических наук, директор, ORCID 0000-0001-5689-8452, AuthorID 89842; irina.petrova@botgard.uran.ru

Ольга Евгеньевна Черепанова¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории популяционной биологии древесных растений и динамики леса, ORCID 0000-0001-7775-6488, AuthorID 736817; +7 922 145-98-79, botgarden.olga@gmail.com

¹ Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Phenogenogeography of *Pinus sylvestris* L. populations in Yakutia and the Amur region

S. N. Sannikov¹, I. V. Petrova¹, O. E. Cherepanova¹✉

¹ Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉ Email: botgarden.olga@gmail.com

Abstract. To preserve biological diversity, it is necessary to determine the genetic structure of species populations, because this gives the most complete picture of the manifestation of polymorphism and makes it possible to detect genetically and phenotypically distinct subspecies. The information obtained will help determine the optimal habitat and protection conditions for endangered and farmed species. **The purpose** of research is to conduct an **allozyme analysis** of 10 populations of *P. sylvestris* L. 2 of the physiographic countries of Yakutia and the Amur region. **Results.** An allozyme analysis revealed less polymorphism and the most drastic differentiation of the Amur region populations (at the level of geographic race) from Yakutia populations, subdivided from each other at the level of geographical populations. Significant differences are shown between the populations of Yakutia and Amur Region according to the distances of Mahalanobis, calculated according to 19 signs of cones. A positive linear relationship was obtained between the distances of Mahalanobis (D^2) and the genetic distances of Ney (DN_{78}) ($R^2 = 0.4159$). **Scientific novelty.** A dominant role in the origin of the Yakut populations of *P. sylvestris* of three Siberian group-gradual fellings (GGF) – Tynda, Romanovka, Irkutsk and a decrease in the genetic similarity of the GGF as they move away from Yakutia were found.

Keywords: Yakutia, Amur region, *P. sylvestris*, population, geographical differentiation, genetic distance, Mahalanobis' distances.

For citation: Sannikov S. N., Petrova I. V., Cherepanova O. E. Fenogenogeografiya populyatsiy sosny obyknovnoy Yakutii i Priamur'ya [Phenogenogeography of *Pinus sylvestris* L. populations in Yakutia and the Amur region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue “Biology and biotechnologies”. Pp. 44–57. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-44-57. (In Russian.)

Date of paper submission: 05.08.2022, **date of review:** 07.09.2022, **date of acceptance:** 29.09.2022.

References

1. Calleja-Rodriguez A. et al. Analysis of phenotypic-and Estimated Breeding Values (EBV) to dissect the genetic architecture of complex traits in a Scots pine three-generation pedigree design // Journal of Theoretical Biology. 2019. Vol. 462. Pp. 283–292. DOI: 10.1016/j.jtbi.2018.11.007.
2. Korshykov I. I. et al. Genetic variability of maternal plants and embryos of their seeds in the populations of *Pinus kochiana* Klotzsch ex Koch in Crimea // Cytology and Genetics. 2016. Vol. 50. No. 2. Pp. 110–115. DOI: 10.3103/S0095452716020079.
3. Sannikov S. N., Egorov E. V. Alternative ways of *Pinus sylvestris* L. migration from Southern Siberia to Europe and Asia Minor // Biology Bulletin. 2015. Vol. 42. No. 5. Pp. 387–393. DOI: 10.1134/S1062359015050118.
4. Semerikov V. L. et al. Development of new mitochondrial DNA markers in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for population and phylogeographic studies // Russian journal of genetics. 2015. Vol. 51. No. 12. Pp. 1199–1203. DOI: 10.1134/S1022795415120108.
5. Vidyakin A. I. et al. Genetic variation, population structure, and differentiation in scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from the northeast of the Russian plain as inferred from the molecular genetic analysis data // Russian journal of genetics. 2015. Vol. 51. No. 12. Pp. 1213–1220. DOI: 10.1134/S1022795415120133.
6. Sannikov S. N., Petrova I. V. Filogenogeografiya i genotaksonomiya populyatsiy vida *Pinus sylvestris* L. [Phylogenogeography and genotaxonomy of populations of the species *Pinus sylvestris* L.] // Ekologiya. 2012. No. 4. Pp. 252–260. DOI: 10.1134/S1067413612040145. (In Russian.)

7. Sannikov S. N., Petrova I. V. *Differentsiatsiya populyatsiy sosny obyknovennoy* [Differentiation of Scotch pine populations]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2003. 247 p. (In Russian)
8. Putenihin V. P. *Populyatsionnaya struktura i sokhranenie genofonda khvoynykh vidov na Urале: avtoref. dis. ... cand. biol. nauk* [Population structure and conservation of coniferous species gene pool in the Urals: abstract of the dissertation ... doctor of biological sciences]. Krasnoyarsk, 2000. 48p. (In Russian)
9. Pravdin L. F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scotch pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection.]. Moscow: Nauka, 1964. 161 p. (In Russian.)
10. Sannikov S. N. et al. The forecast of fire impact on *Pinus sylvestris* renewal in southwestern Siberia // *Journal of Forestry Research*. 2021. Vol. 32. No. 5. Pp. 1911–1919. DOI: 10.1007/s11676-020-01260-1.
11. Santini F. et al. Morpho-physiological variability of *Pinus nigra* populations reveals climate-driven local adaptation but weak water use differentiation // *Environmental and Experimental Botany*. 2019. Vol. 166. Article number 103828. Pp. 1–36. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2019.103828.
12. Olsson S. et al. Evolutionary relevance of lineages in the European black pine (*Pinus nigra*) in the transpacific era // *Tree Genetics & Genomes*. 2020. Vol. 16. No. 2. Pp. 1–10. DOI: 10.1007/s11295-020-1424-8.
13. Urbaniak L. et al. Genetic resources of relict populations of *Pinus sylvestris* (L.) in Western Carpathians assessed by chloroplast microsatellites // *Biologia*. 2019. Vol. 74. No. 9. Pp. 1077–1086. DOI: 10.2478/s11756-019-00255-6.
14. Pyhäjärvi T., Kujala S. T., Savolainen O. 275 years of forestry meets genomics in *Pinus sylvestris* // *Evolutionary Applications*. 2020. Vol. 13. No. 1. Pp. 1–67. DOI: 10.1111/eva.12809.
15. Vasilyeva Y. et al. Genetic Structure, Differentiation and Originality of *Pinus sylvestris* L. Populations in the East of the East European Plain // *Forests*. 2021. Vol. 12. No. 8 (999). Pp. 1–11. DOI: 10.3390/f12080999.
16. Şofletea N. et al. Genetic diversity and spatial genetic structure in isolated scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations native to eastern and southern carpathians // *Forests*. 2020. Vol. 11. No. 10 (1047). Pp. 1–15. DOI: 10.3390/f11101047.
17. Przybylski P. et al. Conservation of Genetic Diversity of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in a Central European National Park Based on cpDNA Studies // *Diversity*. 2022. Vol. 14. No. 2 (93). Pp. 1–11. DOI: 10.3390/d14020093.
18. Yanbaev Y. et al. Gene pool of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under reforestation in extreme environment // *Wood Research*. 2020. Vol. 65. Pp. 459–470. DOI: 10.37763/wr.1336-4561/65.3.459470.
19. Przybylski P. et al. Relationships between Some Biodiversity Indicators and Crown Damage of *Pinus sylvestris* L. in Natural Old Growth Pine Forests // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. No. 3 (1239). Pp. 1–14. DOI: 10.3390/su13031239.
20. González Díaz P. *Development and maintenance of genetic diversity in Scots pine, Pinus sylvestris (L.)*. UK: University of Stirling, 2018. 216 p.
21. Sokolov A. I. et al. *Sokhrannost' i rost kul'tur sosny, sozdannykh posadochnym materialom s zakrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh Karelii* [Preservation and growth of pine crops created by planting material with a closed root system in the conditions of Karelia] // *Russian Forestry Journal*. 2015. No. 6 (348). Pp. 46–56. (In Russian.)
22. *Pinus sylvestris* [e-resource] // The Gymnosperm database. URL: https://www.conifers.org/pi/Pinus_sylvestris.php (date of reference: 20.08.2022).
23. Kormutak A. et al. Artificial hybridization of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus mugo* Turra // *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 2005. Vol. 47. No. 1. Pp. 129–134.
24. Orlova L. V. *O sosne pogrebal'noy (Pinus funebris Kom., Pinaceae)* [About the funeral pine (*Pinus funebris* Kom., Pinaceae)] // *Turczaninowia*. 1999. Vol. 2. No. 2. Pp. 41–45. (In Russian)
25. Lehtiö H. Effect of air pollution on the volatile oil in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Silva Fennica*. 1981. Vol. 15. No. 2. Pp. 122–129.
26. Vidyakin A. I. *Feny lesnykh drevesnykh rasteniy: vydelenie, masshtabirovanie, i ispol'zovanie v populyatsionnykh issledovaniyakh (na primere Pinus sylvestris L.)* [Phenols of forest woody plants: isolation, scaling, and use in population studies (for example, *Pinus sylvestris* L.)] // *Ekologiya*. 2001. No. 3. Pp. 197–202. (In Russian.)
27. Vidyakin A. I. *Populyatsionnaya struktura sosny obyknovennoy na vostoке evropeyskoy chasti Rossii: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk* [Population structure of Scots pine in the east of the European part of Russia: abstract of the dissertation ... doctor of biological sciences]. Ekaterinburg, 2004. 48 p. (In Russian.)
28. Milyutin L. I. *O vydelenii fenov razlichnogo masshtaba v populyatsiyakh drevesnykh rasteniy* [On the selection of phenols of various sizes in populations of woody plants] // *Fenetika prirodnykh populyatsiy: collection of materials of the III All-Union Meeting*. Moscow, 1988. Pp. 92–99. (In Russian.)
29. Putenihin V. P. *Izuchenie populyatsionnoy struktury i sokhranenie genofonda listvennitsy Sukacheva na Yuzhnom Urале* [The study of the population structure and preservation of the gene pool of *Larix sukaczewii* Ledeb. in

the Southern Urals] // *Lesnaya genetika, selektsiya i fiziologiya drevesnykh rasteniy: materialy mezhdunarodnogo simpoziuma*. Moscow, 1989. Pp. 111–112. (In Russian.)

30. Korochkin L. I., Serov O. L., Pudovkin A. I. *Genetika izofermentov [Genetics of isoenzymes]*. Moscow: Nauka, 1977. 275 p. (In Russian.)

31. Cherepanova O. E., Petrova I. V., Sannikov S. N. *Izuchenie allozimnoy differentsiatsii populyatsiy Calluna vulgaris (L.) Hull [Study of allozyme differentiation of Calluna vulgaris (L.) Hull population]* // *Sovremennye metody i podkhody v zashchite rasteniy: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Ekaterinburg, 2020. Pp. 256–257. (In Russian.)

32. Sannikov S. N. et al. The Hypothesis about the Lofoten Pleistocene Refugium for *Pinus sylvestris* L // *Russian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 50. No. 3. Pp. 218–226. DOI: 10.1134/S1067413619030123.

33. Semerikov V. L., Podogas A. V., Rakitskaya T. A. *Elektroforeticheskaya izmenchivost' belkov khvoi sosny obyknovennoy [Electrophoretic variability of proteins of pine needles]* // *Genetika*. 1991. Vol. 27. Pp. 1590–1596. (In Russian.)

34. Mollaeva M. Z. et al. Genetic differentiation of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations along the altitudinal gradient in the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria) // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2063. No. 1. Article number 030014. DOI: 10.1063/1.5087322.

35. Sannikov S. N. et al. *Poisk i vyyavlenie sistemy pleystotsenovykh refugiumov vida Pinus sylvestris L. [Searching for and Revealing the System of Pleistocene Refugia for the Species Pinus sylvestris L.]* // *Ecologiya*. 2020. Vol. 51. No. 3. Pp. 215–223. DOI: 10.1134/S1067413620030133. (In Russian.)

36. Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals // *Genetics*. 1978. Vol. 89. Pp. 583–590. DOI: 10.1093/genetics/89.3.583.

37. Sannikov S. N. et al. Gradient genogeographic analysis of *Pinus sylvestris* L. populations in Europe // *Russian Journal of Ecology*. 2005. Vol. 36. No. 6. Pp. 377–382. DOI: 10.1007/s11184-005-0089-8.

38. Sannikov S. N. et al. Origin of the Atlantic Azorean insular population of *Calluna vulgaris* (L.) Hull // *Current Plant Biology*. 2019. Vol. 18. No. Pp. 1–5. Article number 100108. DOI: 10.1016/j.cpb.2019.100108.

39. Swofford D. L., Selander R. B. BIOSYS-1: A FORTRAN program for the comprehensive analysis of electrophoretic data in population genetic and systematic // *Heredity*. 1981. Vol. 72. Pp. 281–283. DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a109497.

40. Sneath P. H., Sokal R. R. *Numerical taxonomy*. San Francisco: W.H. Freeman and Co., 1973. 573 p.

Authors' information:

Stanislav N. Sannikov¹, doctor of biological sciences, leading researcher of the laboratory of plant population biology and forest dynamics, ORCID 0000-0003-2547-9583, AuthorID 79925

Irina V. Petrova¹, doctor of biological sciences, director, ORCID 0000-0001-5689-8452, AuthorID 89842; irina.petrova@botgard.uran.ru

Olga E. Cherepanova¹, candidate of biological sciences, senior researcher of the laboratory of plant population biology and forest dynamics, ORCID 0000-0001-7775-6488, AuthorID 736817; +7 922 145-98-79, botgarden.olga@gmail.com

¹ Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Влияние орошения на температурный режим чернозема

Л. А. Сенькова¹, Л. В. Гринец^{2, 3}✉

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

³ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: grinez.larisa@mail.ru

Аннотация. Роль орошаемого земледелия во всем мире все более увеличивается в связи с необходимостью обеспечения роста производства продовольствия в условиях аридизации климата и деградации почвенного покрова. Ресурсный потенциал территории России при современном фундаментальном изменении научно-технологической стратегии требует более глубокого исследования проблем орошения черноземных почв. Глобальное изменение климата в сторону аридизации, недостаточное естественное увлажнение почв требуют исследования влияния орошения на тепловой режим почвы. **Цель исследования** заключается в выявлении воздействия режимов орошения на температурный режим и продуктивность яровой пшеницы первоочередного объекта орошения Северной Кулунды – чернозема южного легкосуглинистого. **Методы.** В микроделяночных опытах испытывались варианты с нижним порогом увлажнения почвы в режимах 80 %, 70 % и 60 % от наименьшей влагоемкости (НВ), с мощностью увлажняемого слоя 40 см, 60, 80 см и с дифференцированной мощностью увлажняемого слоя в зависимости от фазы развития растений. Изучение температурного режима, корневой системы растений проводилось в соответствии с принципами организации и методами стационарного изучения почв. **Научная новизна.** Определены оптимальная глубина (0–40 см) и степень увлажнения чернозема южного легкосуглинистого (НВ-60 % НВ), обеспечивающих в условиях Северной Кулунды благоприятный температурный режим почвы и высокий урожай зерна яровой пшеницы. **Результаты.** Температурный режим чернозема южного легкосуглинистого различается по уровню увлажнения, но остается благоприятным как в течение суток, так и за вегетацию. Увлажнение 0–40 см слоя в диапазоне НВ-70 % НВ и НВ-60 % НВ наиболее оптимально, осуществимо на практике и обеспечивает условно урожай зерна 4,3–4,2 т/га. Для поддержания такого режима влажности почвы требуется 4–7 поливов общей оросительной нормой 1700–2200 м³/га. Наибольшая доля корней пшеницы (62–76 % от общей массы) концентрируется в верхней части почвы.

Ключевые слова: чернозем южный, режимы орошения, глубина увлажнения почвы, степень увлажнения почвы, предполивной порог увлажнения, доступность влаги растениям, температурный режим почвы, корневая система растений.

Для цитирования: Сенькова Л. А., Гринец Л. В. Влияние орошения на температурный режим чернозема // Аграрный вестник Урала. 2022. Специальный выпуск «Биология и биотехнологии». С. 58–68. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-58-68.

Дата поступления статьи: 11.11.2022, **дата рецензирования:** 24.11.2022, **дата принятия:** 02.12.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Устойчивое высокопродуктивное земледелие в степных районах возможно только на основе оптимизации водного режима почв путем регулярного орошения. Поэтому в Федеральной целевой программе (ФЦП) «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 гг.» в качестве причин негативного состояния мелиоративного комплекса выделены компоненты технологической безопасности сельского хозяйства

с мелиоративным земледелием. [1, с. 222]. Были проведены многочисленные и разнообразные исследования: влияние орошения на солеустойчивость почв [2], природной тепловлагообеспеченности и дефицитов водопотребления сельскохозяйственных культур [3], особенностей почв с лимитом увлажнения [4, с. 170], разработка перспективного комплекса технико-технологических средств дождевальной техники для прецизионного орошения [5] и др.

По мнению И. П. Айдарова [6, с. 5], при сохранении существующего состояния земледелия и орошения производство продовольствия к 2030 г. упадет до уровня 1900 г., а состояние сельскохозяйственных угодий ухудшится.

Сокращение водных ресурсов в странах Средней Азии и снижение в связи с этим темпов прироста орошаемых земель обусловили включение в состав важнейших направлений государственной деятельности оросительную мелиорацию. В южных регионах Европы также наиболее ощутимы проблемы, связанные с повсеместным применением орошения. Во всех странах одинаково остро стоит проблема деградации земель, связанная с орошением [7; 8].

Тем не менее роль орошаемого земледелия во всем мире все более увеличивается в связи с необходимостью обеспечения роста производства продовольствия в условиях аридизации климата и деградации почвенного покрова. Ресурсный потенциал территории России при современном фундаментальном изменении научно-технологической стратегии требует более глубокого фундаментального исследования проблемы орошения черноземных почв.

Таким образом, для сохранения биосферы в условиях глобального изменения климата требуется проведение интенсивных исследований комплекса социально-экономических проблем в сельскохозяйственном производстве и лесной промышленности [9, с. 532]. При этом исследователями уже давно подчеркивается необходимость экспериментального выявления рациональной глубины и степени увлажнения черноземных почв при орошении с учетом их генетических особенностей и почвенных режимов и вместе с тем важность строжайшего соблюдения научно-обоснованных режимов орошения сельскохозяйственных культур, управления поливами [10; 11; 12; 13, с. 14].

В практике орошаемого земледелия до сих пор принято рассчитывать поливные нормы, в том числе и для зерновых культур, на слой 0–100 см, 0–90 см, 0–80 см, например, по формуле А. Н. Костякова, без учета свойств почв, особенностей поведения влаги в их профиле, а также иногда и биологических особенностей выращиваемой культуры. Планирование режима орошения сводится к решению управления водным балансом и определению влагозапасов в почве на участке на начало и конец орошаемого расчетного периода. Изменение влагозапасов определяется по уравнению водного баланса на основе эмпирических моделей [14; 15, с. 17; 16; 17].

При таких подходах к технологии орошения почв быстро нарушается их экологическое равновесие. Поэтому в настоящее время исследования рациональных водо- и почвосберегающих технологий орошения становятся особенно актуальными.

Устойчивое высокопродуктивное земледелие в степной зоне Западной Сибири возможно только на основе оптимизации водного режима почв путем регулярного научно обоснованного орошения. Орошение остро необходимо в Кулундинской степи, прежде всего в ее центральных и северных районах, где черноземные зональные почвы имеют легкий гранулометрический состав и, как следствие, малую водоудерживающую способность, весьма неустойчивый, неудовлетворительный для сельскохозяйственных культур водный режим и ограниченные возможности его регулирования агротехническими приемами.

Для обоснования высокоэффективной и, что не менее важно, почвосберегающей технологии орошения в этом специфичном по природно-мелиоративным условиям регионе необходимо знание взаимозависимостей водно-физических свойств, особенностей передвижения и удержания влаги в почве и ее доступности растениям в зависимости от глубины и степени увлажнения почвенного профиля. Наиболее пригодными и перспективными для орошаемого земледелия в Северной Кулунде являются черноземы южные легкосуглинистого гранулометрического состава.

Исследованиями показано, что важнейшим фактором, определяющим урожайность при различных режимах увлажнения при глобальной аридизации климата, является температурный режим почв [18–20].

По температурному режиму черноземы южные Западной Сибири относятся к фации холодных почв. Для них характерны глубокое интенсивное промерзание в зимний период, позднее оттаивание, заканчивающееся в начале мая. Но в летний период черноземы южные, особенно легкосуглинистые, самые теплые среди западносибирских черноземов.

Почвы Северной Кулунды, характеризующиеся лимитом тепло- и влагообеспеченности, интенсивно орошаются, но научно-экспериментальное обоснование рационального использования и охраны черноземов остается недостаточным.

Отмеченные актуальные в научном и практическом отношении вопросы агрофизики черноземов южных Северной Кулунды в связи с их орошением послужили темой исследования.

Цель – изучение воздействия режимов увлажнения на температурный режим чернозема южного легкосуглинистого и продуктивность яровой пшеницы.

Методология и методы исследования (Methods)

Все полевые, лабораторные исследования и статистическая обработка материалов проводились в соответствии с принципами организации и методами стационарного изучения почв [21].

Проведены микроделяночные опыты в условиях Северной Кулунды. Размер каждой делянки

1,05 × 2,0 м. Общая площадь делянки при этом составляет 2,1 м², учетная – 0,49 м². Размещение делянок систематическое; повторность в опыте трехкратная. Метод учета урожая – сплошной. При этом урожай каждой делянки взвешивался и учитывался отдельно.

Испытывались варианты с режимами увлажнения 80 %, 70 % и 60 % от НВ и мощностью увлажняемого слоя 40 см и 60 см, а также глубоким (0–80 см) промачиванием профиля чернозема южного легкосуглинистого, которые характерны для современной практики орошаемого земледелия. Опыт не включал вариант с увлажнением слоя 0–20 см, требующего большого количества поливов. Изучался также вариант с дифференцированной мощностью увлажняемого слоя в зависимости от фазы развития растений. Этот вариант введен в опыт в связи с учетом того, что в начальный период развития сельскохозяйственных культур не следует давать большие нормы полива вследствие слабого развития корневой системы. Поливы проводились вручную водой с температурой 20–23 °С.

Контроль влажности почвы в заданных режимах осуществлялся нейтронным влагомером НИВ-2. Тарировался прибор путем определения влажности и расчета запасов влаги термостатно-весовым методом. Для этого трижды за сезон производились отборы проб для последующего определения влажности почвы.

Температурный режим в слое 0–20 см изучался с использованием срочных, максимальных и минимальных вытяжных почвенных колечатых термометров Савинова, глубже – электротермометром АМ-2М. Корневая система пшеницы исследовалась методом отбора монолитов с последующей ее отмывкой.

Результаты (Results)

Особенности климата и составляющих ландшафта Северо-Кулундинской равнины оказали существенное значение на особенности физических и водных свойств черноземов южных легкосуглинистых, имеющих широкое распространение здесь. Профиль черноземов южных легкосуглинистых сформирован из следующих горизонтов:

A_д (1–3 см) – маломощная дернина;

A (15–25 см) – гумусово-аккумулятивный горизонт, свежий, темно-серый с буроватым оттенком, непрочно-комковатый, рыхлый или слабо уплотненный, переход в следующий горизонт постепенный;

B₁ (15–30 см) – переходный гумусовый, свежий, буровато-серый, комковатый или ореховато-комковатый, уплотненный, переход в следующий горизонт постепенный;

B₂ (18–22 см) – переходный горизонт затеков, влажный, бурый с затеками гумусовых веществ, комковатый, уплотненный, карбонаты мучнистые и в виде белоглазки, переход в следующий горизонт постепенный;

C_к (на глубине от 60 до 100 см) – влажный, палевый, призматический, плотный, карбонаты мучнистые и в виде белоглазки.

Легкий гранулометрический состав почв и почвообразующих пород черноземов южных легкосуглинистых обеспечивает хорошую промытость их профиля от легкорастворимых солей. Плотный остаток по профилю почвы в пределах 0,680–0,100 %. Только в почвообразующей породе, за пределами корнеобитаемого слоя, имеется небольшое количество легкорастворимых солей (таблица 1).

Высокая плотность сложения определяется преобладанием крупных фракций гранулометрического состава.

Таблица 1
Свойства чернозема южного

Глубина, см	Частицы < 0,01 мм	Сухой остаток, %	Плотность, г/см ³		Пористость, % от объема	Гумус, %	pH _v
			сложения	твердой фазы			
0–20	27,0	0,100	1,31	2,65	50,5	1,85	6,9
20–50	29,3	0,700	1,49	2,69	44,5	0,75	7,8
50–70	20,7	0,068	1,55	2,70	42,6	0,05	8,2
70 и более	13,8	0,181	1,60	2,70	40,0	–	8,4

Table 1
Properties of southern chernozem

Depth, cm	Particles < 0.01 mm	Dry residue, %	Density, g/cm ³		Porosity, % of volume	Humus, %	pH _e
			additions	solids			
0–20	27.0	0.100	1.31	2.65	50.5	1.85	6.9
20–50	29.3	0.700	1.49	2.69	44.5	0.75	7.8
50–70	20.7	0.068	1.55	2.70	42.6	0.05	8.2
70 and more	13.8	0.181	1.60	2.70	40.0	–	8.4

Общая пористость обеспечивает благоприятное соотношение водной и воздушной фаз по всему профилю почвы.

Содержание гумуса низкое, в гумусово-аккумулятивном горизонте 1,85 %, в переходном горизонте В снижается до 0,75 %, что определяется легким гранулометрическим составом в условиях замедленного биологического круговорота веществ.

Реакция почвенного раствора характерна для зональных почв: в верхних горизонтах нейтральная или близкая к ней, в нижележащих, обогащенных карбонатами, становится щелочной (таблица 1).

Наблюдения за температурой почвы показали, что к началу вегетации почвенный профиль был прогрет до активных температур более +10 °С до глубины 50–60 см, а ко времени проведения первого полива, в конце первой декады июня, на вариантах высокого увлажнения только поверхностный слой 0–20 см прогрелся до температуры более +20 °С, вся глубележащая толща имела температуру от +14 до +18 °С.

Характеризуя в целом температурный режим чернозема южного легкосуглинистого как благоприятный следует отметить, что он несколько различался в зависимости от увлажнения вариантов опыта. В начале периода вегетации, когда еще не сильно проявляется затеняющая роль растений, почвенный профиль в варианте увлажнения НВ-70 % НВ был теплее, чем в варианте с влажностью НВ-90 % НВ.

При режимах увлажнения более глубоких слоев появляются заметные температурные различия. В течение суток значительные колебания температуры охватывают толщу почвы в 30–40 см, ниже остается на уровне среднесуточной.

Наибольшая амплитуда колебаний температуры характерна для поверхности почвы.

Степень увлажнения почвы повлияла и на скорость изменения температуры. В варианте с влажностью НВ-70 % НВ минимум температуры почвы приходится на 2 часа, а при увлажнении в диапазоне НВ-60 % НВ почва охлаждается раньше – в 23 часа. Наиболее быстро нагревается почва с 8 до 11 часов практически независимо от степени увлажнения.

По мере развития растений различия температур в поверхностных слоях почвы в вариантах опыта становятся менее значительными. Закономерность распределения температур ниже 40 см при всех режимах орошения остается одинаковой.

Установлено также, что в периоды похолодания и снижения температуры воздуха температура почвы в верхних слоях выше на 2 градуса в наиболее увлажненных вариантах. Это особенно важно для Западной Сибири в начальный период вегетации растений. Сильнее охлаждается почва при малой степени увлажнения в варианте НВ-60 % НВ. Так, в

фазу восковой спелости пшеницы температура поверхности почвы в ночное время опускалась до +6 °С, в то время как в вариантах с большим увлажнением – до +8...+9 °С.

Таким образом, температурный режим чернозема в июне характеризовался невысокими показателями в слоях почвы глубже 20 см. В течение июля – августа происходило нагревание почвы, но даже в жаркий летний период слои, находящиеся глубже 40 см, не прогревались выше +20 °С. Не происходило излишне высокого перегрева и поверхностных слоев чернозема, что было обусловлено хорошим развитием пшеницы, хотя в отдельные периоды поверхность почвы вслед за резким повышением температуры воздуха нагревалась до +25...+26 °С. В целом в исследованных вариантах увлажнения не замечено негативного влияния температурного режима, создаваемого поливами на черноземе и произрастающие на нем растения, поскольку он был практически одинаковым на всех вариантах опыта. Результаты исследований показали, что самый высокий урожай с наименьшим коэффициентом влагопотребления получен при увлажнении 0–40 см слоя почвы при всех испытываемых степенях увлажнения (таблица 2).

Высоко увлажненный вариант этой серии опыта (НВ-80 % НВ) с глубиной увлажняемого слоя 0–40 см был наиболее продуктивным и дал 340 г зерна на делянку (в условном пересчете 5,3 т/га). Однако он характеризуется большим расходом воды (187 л/делянку или 3000 м³/га) и большим количеством поливов – 15 за вегетацию. Для поддержания режимов влажности почвы в слое 0–40 см в диапазоне НВ-70%НВ и НВ-60 % НВ потребовалось значительно меньше поливов: 7 и 4 соответственно при снижении оросительной нормы на 45 л и 80 л.

Характерно также, что на всех вариантах, предусматривающих увлажнение поливами слоя почвы до глубины 60 см и 80 см, в том числе и сна варианте увлажнения в диапазоне НВ-60 % НВ, урожайность пшеницы была значительно ниже, чем на вариантах, аналогичных по степени увлажнения почвы в слое 0–40 см. причем для поддержания в слоях 0–60 см и 0–80 см поливного режима с высоким порогом предполивной влажности почвы (80 % НВ) неизменно требуются учащенные поливы, неизбежным следствием такого режима являются безвозвратно инфильтрационные потоки влаги. В то же время для поддержания в этих слоях режима увлажнения с низким порогом предполивной влажности почвы (60 % НВ) требуется проведение поливов нормами, превышающими предельно допустимые (прежде всего в эрозионном отношении) значения и практически трудно осуществимыми способами дождевания.

Таблица 2

Влияние глубины и степени увлажнения чернозема южного легкосуглинистого на урожай яровой пшеницы Омская 42 (2019–2021 гг.)

Вариант увлажнения, % НВ	Число поливов	Средняя норма полива	Оросительная норма	Суммарный расход воды	Урожайность		Коэффициент влагопотребления, л/г зерна
					л/делянка	г/делянка	
Глубина увлажнения – 80 см (контроль)							
60 (к)	2	50,0	100	173	205	3,2	0,84
70	4	37,5	150	223	235	3,7	0,95
80	6	26,5	159	232	234	3,7	0,99
Глубина увлажнения – 60 см							
60 (к)	3	35,7	107	180	186	2,9	0,97
70	5	27,2	136	209	271	3,7	0,77
80	8	20,2	162	235	273	4,2	0,86
Глубина увлажнения – 40 см							
60 (к)	4	26,7	107	181	269	4,2	0,67
70	7	20,3	142	215	279	4,3	0,77
80	15	12,4	187	260	340	5,3	0,76
Глубина увлажнения: до фазы трубкавания – 40 см, после – 60 см							
70	6	22	132	205	279	4,3	0,73
НСР ₀₅					39	0,23	

Table 2

Influence of depth and moisture degree of southern light loamy chernozem for the spring wheat harvest Omskaya 42 (2019 year)

Moisturizing option, % of the smallest moisture capacity	Number of waterings	Average watering rate	Irrigation rate	Total water consumption	Harvest grain		Moisture consumption coefficient, liter/gram grain
					liter/plot	gram/plot	
Humidification depth – 80 cm (control)							
60 (c)	2	50.0	100	173	205	3.2	0.84
70	4	37.5	150	223	235	3.7	0.95
80	6	26.5	159	232	234	3.7	0.99
Humidification depth – 60 cm							
60 (c)	3	35.7	107	180	186	2.9	0.97
70	5	27.2	136	209	271	3.7	0.77
80	8	20.2	162	235	273	4.2	0.86
Humidification depth – 40 cm							
60(c)	4	26.7	107	181	269	4.2	0.67
70	7	20.3	142	215	279	4.3	0.77
80	15	12.4	187	260	340	5.3	0.76
Humidification depth: before the piping phase – 40 cm, after – 60 cm							
70	6	22.0	132	205	279	4.3	0.73
LSD ₀₅					39	0.23	

Что касается варианта, в котором от посева до фазы трубкования увлажняли 0–40 см слой в диапазоне НВ-70 % НВ, а в остальной период вегетации в том же диапазоне, но до глубины 60 см, то на нем сформировался такой же урожай зерна (279 г/делянку, или условно 4,3 т/га), как и на варианте с глубиной увлажнения слоя до 40 см в диапазоне увлажнения НВ – 70 % НВ. Эти сравниваемые варианты были близки по числу поливов, оросительной норме, суммарному расходу влаги и коэффициенту водопотребления (таблица 2).

Таким образом, из рассмотренных вариантов микроделяночного опыта по всем водно-балансовым показателям, продуктивности использования влаги пшеницей и ее урожайности выделяется вариант с поддержанием влажности в диапазоне НВ-60 % НВ в слое 0–40 см, как наиболее приемлемый, целесообразный в практическом, в том числе и почвенно-охранном отношении.

Полученные данные показывают, что в черноземе южном легкосуглинистом в слое глубже 40 см влага малоактивна. Вследствие этого очевидно, что проведение дифференцированных поливов на этих почвах Северной Кулунды практически нецелесообразно.

Глубина и степень увлажнения чернозема оказала прямое влияние на развитие корневой системы пшеницы (таблица 3).

Результаты этих наблюдений подтверждают, что при возделывании сельскохозяйственных культур массой и глубиной проникновения можно и нужно управлять, особенно в условиях орошения. Более того, расчет поливных норм рекомендуется вести с учетом мощности слоя наибольшего распространения массы корней и активной их десукции [22; 23, с. 782].

В орошаемом черноземе легкосуглинистом наиболее высокие запасы корней пшеницы сформировались в вариантах увлажнения почвы в диапазоне НВ-80 % НВ (таблица 3).

Основная масса корней пшеницы сосредоточилась в слое 0–20 см, а уже в слое 20–40 см запасы резко уменьшались. На вариантах с увлажнением почвы в диапазоне НВ-60 % НВ масса корней пшеницы в почве, особенно в слое 0–20 см, была заметно меньше, чем в вариантах с повышенной предполивной влажностью почвы. Вместе с тем характерно, что во всех вариантах с заданным увлажнением слоя 0–40 см в верхней его половине концентрировалась наибольшая доля корней растений (до 62–76 % от общей массы).

Таблица 3
Влияние режимов увлажнения на корневую систему яровой пшеницы

Глубина увлажняемого слоя, см	Вариант увлажнения, % НВ	Слой почвы, см	Масса корней		Корни в слое, % от общей массы в профиле
			г/делянка	г/м ²	
80	80	0–20	400	625	52
		20–40	227	355	29
		40–60	100	156	13
		60–80	45	70	6
	60	0–20	282	440	53
		20–40	157	245	30
		40–60	50	78	10
		60–80	37	58	7
60	80	0–20	417	652	52
		20–40	238	373	30
		40–60	146	228	18
	60	0–20	307	480	55
		20–40	161	253	29
		40–60	86	130	16
40	80	0–20	500	783	76
		20–40	157	245	24
	60	0–20	213	330	62
		20–40	128	200	38
Дифференцированный полив	70	0–20	310	480	64
		20–40	122	191	25
		40–60	54	84	11

Table 3
Influence of moisture regimes on the root system of spring wheat

Depth of the moistened layer, cm	Moisturizing option, % of the smallest moisture capacity	Soil layer, cm	Root mass		Roots, % from the mass of roots
			g/plot	g/m ²	
80	80	0–20	400	625	52
		20–40	227	355	29
		40–60	100	156	13
		60–80	45	70	6
	60	0–20	282	440	53
		20–40	157	245	30
		40–60	50	78	10
		60–80	37	58	7
60	80	0–20	417	652	52
		20–40	238	373	30
		40–60	146	228	18
	60	0–20	307	480	55
		20–40	161	253	29
		40–60	86	130	16
40	80	0–20	500	783	76
		20–40	157	245	24
	60	0–20	213	330	62
		20–40	128	200	38
Differentiated irrigation	70	0–20	310	480	64
		20–40	122	191	25
		40–60	54	84	11

Чем больше мощность увлажняемого слоя и выше предполивной порог увлажнения, тем равномернее распределяется корневая система яровой пшеницы. Однако в слое 60–80 см формируется незначительная их доля. Следовательно, увлажнение этого слоя не является эффективным. Вариант с дифференцированным режимом увлажнения почвы не являлся исключением. Основное количество корней (64 %) здесь сосредоточено также в слое 0–20 см. В слое 40–60 см их было всего 11 % от общей массы корней.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Данные микроделяночного опыта показали не только высокую эффективность орошения черноземов южных легкосуглинистых, но и, что особенно важно, позволили обосновать с учетом особенностей поведения и доступности растениям почвенной влаги, основные элементы водо- и почвоохранной технологии орошения. Ими являются рациональная мощность увлажняемого при орошении почвенного слоя, допустимый предел снижения влажности почвы перед поливом и, следовательно, оптимальные нормы вегетационных поливов для яровых зерновых культур.

Установлено, что применительно к черноземам южным легкосуглинистым поливной режим с увлажнением 0–40 см слоя в диапазоне НВ-70 %

НВ и НВ-60 % НВ наиболее оптимальный и реально осуществимый на практике. Урожай зерна при таком увлажнении почвы высокий и составляет 4,2–4,3 т/га. В типичные по атмосферному увлажнению для данной зоны и засушливые годы для поддержания установленного оптимального режима влажности почвы и получения высокого урожая яровых зерновых потребуется 4–7 поливов общей оросительной нормой 1700–2200 м³/га. При таком режиме увлажнения почвенная, в том числе и поливная вода расходуется экономно, о чем свидетельствуют низкие величины коэффициента водопотребления на единицу урожая. При этом инфильтрация поливных вод за пределы слоя 0–40 см не происходит.

В исследованных вариантах увлажнения не замечено негативного влияния температурного режима, создаваемого поливами на чернозем и произрастающие на нем растения, поскольку он был практически одинаковым на всех вариантах опыта. Не происходило излишне высокого перегрева и охлаждения поверхностных слоев почвы.

Наибольшая масса корней пшеницы сформировались во всех вариантах высокого предполивного порога увлажнения (НВ-80 % НВ). Основная масса корней сосредоточена в слое 0–20 см (таблица 3).

Во всех режимах увлажнения наибольшая масса корней формируется в слое 0–20 см. Однако наибольшее их количество в этом слое характерно для вариантов увлажнения 40 см слоя с предположенным порогом увлажнения 60 и 80 % НВ (62–76 % от общего количества).

Библиографический список

1. Угрюмова А. А., Замаховский М. П., Капустина Т. А. Технологическая безопасность сельского хозяйства в регионах с мелиоративным земледелием // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. Т. 14. № 2. С. 221–235.
2. Клименко О. Е., Евтушенко А. П., Клименко Н. И. Изменение солевого состава почв при орошении соленоватыми водами в степном Крыму // Почвоведение. 2022. № 12. С. 1557–1570.
3. Поддубский А. А., Шуравилин А. В., Сурикова Н. В. Влияние влагообеспеченности на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Московской области // Природообустройство. 2017. № 2. С. 68–73.
4. Senkova L., Grinets L., Vyatkina G., Tarbeeva D. The soil bank models for information support for the training of agrarian specialists // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Digital agriculture – development strategy". Series: Advances in Intelligent Systems Research (ISPC 2019). Pp. 168–173.
5. Ольгаренко, В. И., Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Принципы применения элементов технологии точного земледелия и прецизионного орошения в сельскохозяйственном производстве // Новости науки в АПК. 2018. № 2-2(11). С. 23–26.
6. Айдаров И. П. Проблемы мелиорации земель и водопользования // Природообустройство. 2008. № 2. С. 5–19.
7. Илюшина Т. В. Научные исследования в области искусственного орошения засушливых территорий Средней Азии (конец XIX в. – начало XX в.) // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2019. № 2 (45). С. 34–38.
8. Состояние водных ресурсов Европы (часть четвертая) [Электронный ресурс]. URL: <https://watermagazine.ru/novosti/za-rubezhom/24437-sostoyanie-vodnykh-resursov-evropy-chast-chetvertaya.html> (дата обращения: 18.10.2022).
9. Чугункова А. В., Пыжев А. И., Пыжева Ю. И. Влияние глобального изменения климата на экономику лесного и сельского хозяйства: риски и возможности // Russian Journal of Economics and Law. 2018. № 3 (47). С. 523–537.
10. Апальков А. Ф., Апальков С. А., Погорелов Н. П. Исследования и обоснование расчетных схем процесса впитывания при поливе по бороздам // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 45. С. 54–59.
11. Панфилов В. П., Слесарев И. В., Сеньков А. А. [и др.] Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: ИПА СО РАН, 1988. 256 с.
12. Андреев С. А. Энерго-ресурсосберегающий способ управления поливом // Природообустройство. 2017. № 5. С. 95–101.
13. Senkova L. A., Karpukhin M. Yu. Justification irrigated farming technologies on the example of moistures behavior in soil // International journal of applied and fundamental research. 2016. No. 6. URL: <http://www.science-sd.com/468-25158> (date of reference: 04.11.2022).
14. Терпигорев А. А., Зверьков М. С. Основные методы обоснования рациональных элементов технологии поверхностного полива по бороздам // Экология и строительство. 2017. № 2. С. 25–29.
15. Штанько А. С., Шкура В. Н. Методика расчета поливных норм, обеспечивающих формирование заданных параметров увлажнения почв при капельном поливе // Мелиорация и гидротехника. 2018. № 4 (32). С. 17.
16. Апальков С. А., Апальков А. Ф., Курень С. Г., Марченко Ю. В. Определение оросительной нормы при поливе по бороздам [Электронный ресурс] // ИВД. 2019. № 1 (52). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-orositelnoy-normy-pri-polive-po-borozdam> (дата обращения: 08.11.2022).
17. Штанько А. С., Шкура В. Н. Методика расчета поливных норм, обеспечивающих формирование заданных параметров увлажнения почв при капельном поливе [Электронный ресурс] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 4 (32). С. 60–76. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=567&id=571> (дата обращения: 08.11.2022).
18. Галимова Р. Г., Горшкова Д. В. Изменчивость агрометеорологических условий территории как фактор сельскохозяйственной эффективности [Электронный ресурс] // Экономика: экономика и сельское хозяйство. 2017. № 2 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenchivost-agrometeorologicheskikh-usloviy-territorii-kak-faktor-selskohozyaystvennoy-effektivnosti> (дата обращения: 08.11.2022).
19. Goncharov V. M., Lipatov D. N., Tymbaev V. G., Butylkina M. A., Faustova E. V., Mazirov M. A. Principles and methods of complex agrophysical researches // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,

IOP Publishing Bristol, UK, England, 2019. Vol. 368. Article number 012014. Pp. 2–7. DOI: 10.1088/1755-1315/368/1/012014.

20. Belenkov A., Mazirov M., Arefieva V. Theoretical and practical aspects of basic soil treatment in the conditions of modern soil management systems in Russia // Eurasian Journal of Soil Science, Federation of Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 300–307. DOI: 10.18393/ejss.448593.

21. Принципы организации и методы стационарного изучения почв / Отв. ред. А. А. Роде. Москва: Наука, 1976. 305 с.

22. Най П. Х., Тинкер Н. Б. Давление растворов в системе почва – растение / Пер. с англ. Москва: Колос, 1980. 365 с.

23. Raterya Nader et al. Contribution des reserves profondes du soi au bilan hydrique des cultures. Determination et importance // Agronomit. 1984. Vol. 4. No. 8. Pp. 779–787.

Об авторах:

Лидия Андреевна Сенькова¹, доктор биологических наук, профессор, ORCID 0000-0002-2597-662X, AuthorID 433356; +7 902 500-80-74, senkova_la@mail.ru

Лариса Владимировна Гринец^{2, 3}, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент², старший научный сотрудник³, ORCID 0000-0003-3723-7784, AuthorID 148353; +7 964 241-96-33, grinez.larisa@mail.ru

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

³ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Influence of irrigation on the temperature regime of chernozem

L. A. Senkova¹, L. V. Grinets^{2, 3}✉

¹ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

³ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: grinez.larisa@mail.ru

Abstract. The role of irrigated agriculture around the world is increasingly increasing due to the need to ensure the growth of food production in the conditions of climate aridity and soil degradation. The resource potential of the territory of Russia with the current fundamental change in the scientific and technological strategy requires a deeper fundamental study of the problems of irrigation of chernozem soils. Global climate change towards aridization, insufficient natural soil moisture requires the study of the effect of irrigation on the thermal regime of the soil. **The purpose of the research** is to study the impact of irrigation regimes on the temperature regime and productivity of spring wheat, the primary object of irrigation of the Northern Kulunda – southern light loamy chernozem. **Methods.** In microplot experiments, variants were tested with a lower moisture threshold of 80 %, 70 %, and 60 % of the lowest moisture capacity (LW) and a wetted layer thickness of 40 cm, 60, 80 cm, and with a differentiated wetted layer thickness depending on the phase of plant development. Methods for studying the temperature regime and the root system of plants are generally accepted. **Scientific novelty.** The optimal depth (0–40 cm) and the degree of moistening of the southern light loamy chernozem (HB-60 % HB) were determined, which ensure a favorable temperature regime of the soil under the conditions of Northern Kulunda and a high yield of spring wheat grain. **Results.** The temperature regime of the southern light loamy chernozem differs in the level of moisture, but remains favorable both during the day and during the growing season. Humidification of the 0–40 cm layer in the range of HB-70 % HB and HB-60% HB is the most optimal, feasible in practice and provides a conditional grain yield of 4.3–4.2 t/ha. To maintain such a regime of soil moisture, 4–7 irrigations are required with a total irrigation rate of 1700–2200 m³/ha, respectively. The largest share of wheat roots (62–76 % of the total mass) is concentrated in its upper part.

Keywords: southern chernozem, irrigation regimes, soil moisture depth, degree of soil moisture, pre-watering moisture threshold, moisture availability to plants, soil temperature regime, plant root system.

For citation: Senkova L. A., Grinets L. V. Vliyanie orosheniya na temperaturnyy rezhim chernozema [Influence of irrigation on the temperature regime of chernozem] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue "Biology and biotechnologies". Pp. 58–68. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-58-68. (In Russian.)

Date of paper submission: 11.11.2022, **date of review:** 24.11.2022, **date of acceptance:** 02.12.2022.

References

1. Ugryumova A. A., Zamakhovskiy M. P., Kapustina T. A. Tekhnologicheskaya bezopasnost' sel'skogo khozyaystva v regionakh s meliorativnym zemledeliyem [Technological security of agriculture in regions with meliorative farming] // National Interests: Priorities and Security. 2018. Vol. 14. No. 2. Pp. 221–235. (In Russian.)
2. Klimenko O. E., Evtushenko A. P., Klimenko N. I. Izmeneniye solevogo sostava pochv pri oroshenii solonovatyimi vodami v stepnom Krymu [Changes in the salt composition of soils when irrigated with brackish water in the steppe Crimea] // Pochvovedeniye. 2022. No. 12. Pp. 1557–1570. (In Russian.)
3. Poddubskiy A. A., Shuravilin A. V., Surikova N. V. Vliyaniye vlagooobespechennosti na urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh Moskovskoy oblasti [Influence of moisture availability on crop yields under Moscow Oblast conditions] // Prirodoobustroystvo. 2017. No. 2. Pp. 68–73. (In Russian.)
4. Senkova L., Grinets L., Vyatkina G., Tarbeeva D. The soil bank models for information support for the training of agrarian specialists // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Digital agriculture – development strategy". Series: Advances in Intelligent Systems Research (ISPC 2019). Pp. 168–173.
5. Ol'garenko, V. I. Printsipy primeneniya elementov tekhnologii tochnogo zemledeliya i pretsizionnogo orosheniya v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Principles of Application of Elements of Precision Agriculture and Precision Irrigation Technology in Agricultural Production] // Novosti nauki v APK. 2018. No. 2-2 (11). Pp. 23–26. (In Russian.)
6. Aydarov I. P. Problemy melioratsii zemel' i vodopol'zovaniya [Problems of land reclamation and water use] // Prirodoobustroystvo. 2008. No. 2. Pp. 5–19. (In Russian.)
7. Ilyushina T. V. Nauchnyye issledovaniya v oblasti iskusstvennogo orosheniya zasushlivykh territoriy Sredney Azii (konets XIX v. – nachalo XX v.) [Scientific research in the field of artificial irrigation of arid territories of Central Asia (late XIX century – early XX century)] // Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic. 2019. No. 2 (45). Pp. 34–38. (In Russian.)
8. Sostoyaniye vodnykh resursov Evropy (chast' chetvertaya) [State of Europe's water resources (part four)] [e-resource]. URL: <https://watermagazine.ru/novosti/za-rubezhom/24437-sostoyanie-vodnykh-resursov-evropy-chast-chetvertaya.html> (date of reference: 18.10.2022). (In Russian.)
9. Chugunkova A. V., Pyzhev A. I., Pyzheva Yu. I. Vliyaniye global'nogo izmeneniya klimata na ekonomiku lesnogo i sel'skogo khozyaystva: riski i vozmozhnosti [Impact of Global Climate Change on the Forest and Agricultural Economy: Risks and Opportunities] // Russian Journal of Economics and Law. 2018. No. 3 (47). Pp. 523–537. (In Russian.)
10. Apal'kov A. F., Apal'kov S. A., Pogorelov N. P. Issledovaniya i obosnovaniye raschetnykh skhem protsessa vpiyvaniya pri polive po borozdam [Research and justification of calculation schemes of soakage process in furrow irrigation] // Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2019. No. 45. Pp. 54–59. (In Russian.)
11. Panfilov V. P., Slesarev I. V., Sen'kov A. A. et al. Chernozemy: svoystva i osobennosti orosheniya [Black soils: properties and peculiarities of irrigation]. Novosibirsk: IPA SO RAN, 1988. 256 p. (In Russian.)
12. Andreev S. A. Energo-resursosberegayushchiy sposob upravleniya polivom [Energy-saving method of irrigation control] // Prirodoobustroystvo. 2017. No. 5. Pp. 95–101. (In Russian.)
13. Senkova L. A., Karpukhin M. Yu. Justification irrigated farming technologies on the example of moistures behavior in soil // International journal of applied and fundamental research. 2016. No. 6. URL: <http://www.science-sd.com/468-25158> (date of reference: 04.11.2022).
14. Terpigorev A. A., Zver'kov M. S. Osnovnyye metody obosnovaniya ratsional'nykh elementov tekhnologii poverkhnostnogo poliva po borozdam [Basic methods of justification of rational elements of surface furrow irrigation technology] // Ekologiya i stroitel'stvo. 2017. No. 2. Pp. 25–29. (In Russian.)
15. Shtan'ko A. S., Shkura V. N. Metodika rascheta polivnykh norm, obespechivayushchikh formirovaniye zadannykh parametrov uvlazhneniya pochv pri kapel'nom polive [Calculation methodology of irrigation rates, providing the formation of specified parameters of soil moisture during drip irrigation] // Melioratsiya i gidrotekhnika. 2018. No. 4 (32). P. 17. (In Russian.)
16. Apal'kov S. A., Apal'kov A. F., Kuren' S. G., Marchenko Yu. V. Opredeleniye orositel'noy normy pri polive po borozdam [Determination of irrigation rate for furrow irrigation] // IVD [e-resource]. 2019. No. 1 (52). Pp. 1–9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-orositelnoy-normy-pri-polive-po-borozdam> (date of reference: 08.11.2022). (In Russian.)

17. Shtan'ko A. S., Shkura V. N. Metodika rascheta polivnykh norm, obespechivayushchikh formirovaniye zadannykh parametrov uvlazhneniya pochv pri kapel'nom polive [Calculation methodology of irrigation rates, providing the formation of specified parameters of soil moisture during drip irrigation] [e-resource] // Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii. 2018. No. 4 (32). Pp. 60–76. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=567> (date of reference: 08.11.2022) (In Russian.)
18. Galimova R. G., Gorshkova D. V. Izmenchivost' agrometeorologicheskikh usloviy territorii kak faktor sel'skokhozyaystvennoy effektivnosti [Variability of agrometeorological conditions of the territory as a factor of agricultural efficiency] [e-resource] // Aekonomika: ekonomika i sel'skoe khozyaystvo. 2017. No. 2 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenchivost-agrometeorologicheskikh-usloviy-territorii-kak-faktor-selskohozyaystvennoy-effektivnosti> (date of reference: 08.11.2022). (In Russian.)
19. Goncharov V. M., Lipatov D. N., Tymbaev V. G., Butylkina M. A., Faustova E. V., Mazirov M. A. Principles and methods of complex agrophysical researches // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing Bristol, UK, England, 2019. Vol. 368. Pp. 2–7. DOI: 10.1088/1755-1315/368/1/012014.
20. Belenkov A., Mazirov M., Arefieva V. Theoretical and practical aspects of basic soil treatment in the conditions of modern soil management systems in Russia // Eurasian Journal of Soil Science. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 300–307. DOI: 10.18393/ejss.448593.
21. Printsipy organizatsii i metody statsionarnogo izucheniya pochv [Principles of organization and methods of stationary soil research] / A. A. Rode (Ed.). Moscow: Nauka, 1976. 305 p. (In Russian.)
22. Nay P. Kh., Tinker N. B. Davleniye rastvorov v sisteme pochva-rasteniye (perevod s angliyskogo) [Solution pressure in the soil-plant system]. Mpscpw: Kolos, 1980. 365 p. (In Russian.)
23. Raterya Nader et al. Contribution des reserves profondes du soi au bilan hydrique des cultures. Determination et importance // Agronomit. 1984. Vol. 4. No. 8. Pp. 779–787.

Authors' information:

Lidiya A. Senkova¹, doctor of biological sciences, professor, ORCID 0000-0002-2597-662X, AuthorID 433356; +7 902 500-80-74, senkova_la@mail.ru

Larisa V. Grinets^{2,3}, candidate of agricultural sciences, associate professor², senior researcher³, ORCID 0000-0003-3723-7784, AuthorID 148353; +7 964 241-96-33, grinez.larisa@mail.ru

¹ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

³ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Продуктивность сортов люпина узколистного в условиях Среднего Урала

В. В. Чулкова¹✉, Г. В. Вяткина¹, В. А. Чулков¹, Т. В. Павленкова¹

¹Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉E-mail: vchulkova75@mail.ru

Аннотация. Цель – установить эффективность выращивания люпина узколистного на зерно в условиях Свердловской области. Впервые в посевах использовались новые сорта узколистного люпина происхождения ГНУ Всероссийский НИИ люпина для экологического испытания в данных почвенно-климатических условиях в одновидовых посевах при выращивании на зерно. **Методы.** Основным методом проведения исследований являлась закладка полевых опытов. Исследования в 2016–2017 гг. проводились на участке Уральского НИИСХ в 2021–2022 гг. в учебно-опытном хозяйстве Уральского государственного аграрного университета, расположенном в лесостепной зоне Свердловской области. Основные наблюдения и учеты проводились по методике ВНИИ кормов. Урожайность определялась весовым методом с отбором средних образцов. **Результаты.** В 2016–2017 гг. изучалось 5 сортов люпина узколистного: Радужный, Узколистный 53, Белозерный 110, Смена, Витязь, а в 2021–2022 гг. – 3 сорта: Сидерат 46, Брянский кормовой и Витязь. Все сорта люпина узколистного перед уборкой имели боковые ветви и бобы на них. Наибольшее число боковых стеблей и бобов отмечалось у сортов Радужный и Витязь в 2017 г. – 4,2–4,3 шт. На темносерой почве в 2016 г. была получена урожайность зерна люпина узколистного от 1,13 до 1,54 т/га. В более благоприятных по влагообеспеченности условиях 2017 г., продуктивность люпина узколистного была выше, чем в предыдущем году, в 2–3 раза у всех сортов, кроме сорта Узколистный 53. В остросасушливых условиях 2021–2022 гг. на черноземе оподзоленном сорта узколистного люпина Брянский кормовой, Витязь и Сидерат 46 обеспечили получение урожайности зерна от 1,34 т/га у сорта Сидерат 46 до 2,45 т/га у сорта Витязь. **Научная новизна.** Впервые изучена эффективность выращивания новых сортов люпина узколистного в условиях Среднего Урала. Установлены сорта, позволяющие получить высокую урожайность зерна.

Ключевые слова: зернобобовая культура, сорта, люпин узколистный, протеин, развитие растений, структура урожая, урожай зерна.

Для цитирования: Чулкова В. В., Вяткина Г. В., Чулков В. А., Павленкова Т. В. Продуктивность сортов люпина узколистного в условиях Среднего Урала // Аграрный вестник Урала. 2022. Спецвыпуск «Биология и биотехнологии». С. 69–80. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-69-80.

Дата поступления статьи: 15.11.2022, **дата рецензирования:** 25.11.2022, **дата принятия:** 01.12.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Решение проблемы продовольственной безопасности населения любого региона зависит от создания собственного производства высокобелковых растительных кормов. В зоне Среднего Урала увеличение производства растительного белка имеет основное практическое значение в условиях дефицита ресурсов. Проблема обеспечения животноводства достаточным количеством полноценного белка продолжает оставаться нерешенной. Несбалансированный по белку рацион подавляет рост и развитие молодняка, нарушает обмен веществ, увеличивает расход корма на единицу продукции, тем самым увеличивая его себестоимость [1, с. 1; 2].

Основным резервом растительного белка может стать модернизация структуры посевных площа-

дей, увеличение доли зернобобовых, совершенствование технологии приготовления и улучшение качества заготавливаемых кормов, рациональное их использование в выращивании животных и птицы [3; 4].

В процессе интенсификации сельскохозяйственного производства зернобобовые культуры оказались потесненными. Такие типичные зернобобовые культуры для Нечерноземной зоны, как горох и вика, полегают, что снижает урожайность и качество семян. По урожайности и ее стабильности они уступают зерновым колосовым культурам [5; 6].

Улучшение экономики животноводства без коренных изменений в производстве кормов, направленных на повышение их питательной ценности, невозможно. Для увеличения производства

растительного белка хозяйства расширяют посевы бобовых культур, внедряя использование в кормопроизводстве люпина узколистного. Многоцелевое использование люпина узколистного способствует как получению питательных и дешевых объемистых кормов, так и сокращению перерасхода зерна злаковых культур, используемых на фуражные цели и в качестве сидерата [7, с. 11].

Давно известно, что люпин является источником получения ценных высокобелковых кормов. Каждый из трех видов – люпин желтый (*Lupinus luteus* L.), люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) и люпин белый (*Lupinus albus* L.) – имеет свою экологическую и экономическую нишу. В производстве зернофуража и комбикормов возможна их взаимозамена [8, с. 35]. В РФ культивируют эти несколько видов люпина, которые возможно успешно возделывать во многих регионах. Наибольшее распространение получил узколистный люпин (кормовой) – белковая зернофуражная культура, менее требовательная к условиям выращивания среди культур из данной группы. Нынешние посевные площади (20 тыс. га) и объемы производства узколистного люпина невелики и составляют 18–20 тыс. тонн семян и зернофуража [9].

Из-за повышенного содержания алкалоидов люпин долгое время возделывался в основном в качестве зеленого удобрения. В практике кормопроизводства люпин, имеющий в семенах менее 0,025 % алкалоидов, может использоваться для пищевых целей, а с содержанием алкалоидов 0,025–0,1 % относится к группе малоалкалоидных и используется для корма сельскохозяйственных животных и птицы. Прочие считаются горькими и применяются для сидератных целей [10; 11].

Благодаря высокой азотфиксирующей способности и большому накоплению органического вещества в почве это один из лучших сидератов. В его растениях накапливается 180–200 кг/га (200–400 кг/га) азота, что соответствует 36–40 т/га навоза. Он уменьшает эрозию, раскисляет почву, обогащает ее, оставляя последующей культуре в почве 50–100 кг азота, 30 кг фосфора, 50 кг действующего вещества калия. Корневая система культуры способна проникать на большую глубину почвы и использовать труднорастворимые фосфаты [12; 13].

Наибольшая продуктивность зерна (4,1 т/га) получена в звене севооборота «люпин – озимая пшеница» с применением вспашки с чизелеванием через четыре года, что существенно ($НСР_{05} = 0,2$) превысило одну вспашку (3,6 т/га) [14].

Первые сорта научной селекции были созданы в 1930-х гг., после выявления низкоалкалоидных мутантов. Производство этой культуры сдерживается нестабильной урожайностью и подверженностью болезням. Генетический потенциал вида можно задействовать эффективнее. При этом сидеральные

сорта рационально создавать высокоалкалоидными (горькими), а продовольственные и кормовые за счет элиминации алкалоидов не должны терять адаптивные свойства, в том числе устойчивость к патогенам. В этом отношении эффективным направлением является выведение сладко-горьких сортов, сочетающих высокое содержание алкалоидов в вегетативной массе и низкое в семенах. Добиться этого можно путем регулирования синтеза, транспорта алкалоидов в растениях [15, с. 626].

По статистике Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), в мире производится 981 тыс. тонн люпина. Лидер – Австралия (580 тыс. тонн), в ней находится 90 % площадей, на втором месте Польша – 139 тыс. тонн, Россия – на третьем месте (76 тыс. тонн). В РФ люпин производится в 36 субъектах, основные площади сосредоточены в Центральном и Северо-Западном регионах, лидерами являются Орловская, Брянская и Курская области [16].

В Республике Беларусь традиционно возделываются два вида люпина – желтый и узколистный. Белый люпин не получил должного распространения по причине позднеспелости и неравномерности созревания, а также поражаемости фузариозом и антракнозом в сильной степени [17, с. 25].

В Государственном реестре селекционных достижений РФ для возделывания люпина рекомендованы следующие регионы: Северный, Северо-Западный, Центральный, Волго-Вятский, Центрально-Черноземный, Уральский, Западно-Сибирский.

Сравнительное экологическое изучение сортов люпина узколистного в 2017–2019 гг. на территории учебно-опытного поля Вятской государственной сельскохозяйственной академии на участках с дерново-подзолистыми среднесуглинистыми почвами выявило наиболее продуктивные сорта Сидерат 46 и Белозерный 110 – 279...287 г/м² при 263 г/м² у стандартного сорта Кристалл. Полученная за счет большего количества бобов с растения и количества семян в бобе у сорта Сидерат 46 и большего количества семян в бобе у сорта Белозерный 110 более высокая урожайность позволила рекомендовать эти сорта для возделывания на зерновые цели в хозяйствах Волго-Вятского региона [18, с. 82].

В условиях Челябинской области 2016–2017 гг. были проведены испытания сортов люпина, созданных в Всероссийском НИИ люпина и РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева в полевом мелколосном опыте. Это позволило выявить наиболее надежные по уровню урожайности зерна сорта люпина. Преимущество по семенной продуктивности показал сорт люпина белого Дега над районированным сортом люпина узколистного Смена. Он отличался высоким содержанием белка в семенах (37,3 %) и масла (9 %), что на 10,5 и 2,5 % больше, чем у сорта Смена, соответственно [19, с. 764].

Селекционерами ВНИИ люпина были созданы новые сорта люпина узколистного Витязь, Надежда, Радужный, Сидерат 46, характеризующиеся скороспелостью, пластичностью, засухоустойчивостью и высокой адаптивностью [20].

Доля вклада нового сорта в общей структуре повышения продуктивности сельскохозяйственных культур варьирует от 30 до 60 %, а остальная прибавка приходится на усовершенствованную сортовую агротехнику (в среднем около 50 %) [21, с. 29].

Оптимальные рационы для животных и птицы содержат до 22 % сырого протеина. Качество белка корма оценивается по биологической полноценности: содержанию, соотношению и усвояемости аминокислот. Одним из больших источников белка может стать люпин благодаря высокой урожайности зерна до 25–35 ц/га, отсутствию генномодифицированных сортов и большому ареалу произрастания. Он содержит в семенах много протеина при оптимальном соотношении жира и углеводов. Наибольшее кормовое значение имеют люпин белый и узколистный, которые более урожайны, с низким содержанием алкалоидов и отличаются широким ареалом возделывания [22, с. 52].

Так как соевый белок производится из трансгенных сортов и в связи с этим продукция становится менее привлекательной, то выбор остается за белком люпина в качестве основной растительной добавки в корма. Содержание в белке лизина повышает его ценность, так как недостаток этой аминокислоты в кормах животных вызывает снижение массы тела и замедление роста [23, с. 14].

При определении химического состава семян растений люпина узколистного и люпина белого в Калининградской области С. В. Агафоной и А. И. Рыковым установлено, что массовая доля эруковой кислоты от суммы жирных кислот в семенах белого люпина составляла $0,59 \pm 0,05$ %, тогда как в узколистном люпине эруковая кислота отсутствовала [24, с. 139].

Урожайность семян зависит как от сорта, так и от метеорологических условий. Поздние посевы и недостаток тепла приводят к частичной гибели растений и снижению урожайности. Засушливые условия угнетают рост и ветвление. Обилие осадков усиливает вегетативный рост и образование бобов на боковых побегах. Максимально возможная масса 1000 семян – сортовой признак. Его реализация зависит от числа сформировавшихся плодов и семян, их расположения на растении, а также от условий налива семян. Масса 1000 семян и число семян в одном бобе на боковых побегах всегда значительно ниже (на 10–12 %), чем на главном стебле. Сорта с ограниченным ветвлением устойчиво созревают и более стабильны по урожайности семян [25, с. 41].

Сорта узколистного люпина довольно засухоустойчивы. Одной из характеристик засухоустойчивости является вододерживающая способность листьев. Наиболее высокими значениями вододерживающей способности (60,1–67,5 %) характеризуются сорта с наибольшей площадью листа (9,7–12,9 см²). В группе мелколистных растений с площадью листа 6,8–8,8 см² показатель площади листа не оказывал определяющего влияния на вододерживающую способность. Крупнолистные формы в условиях умеренной засухи могут конкурировать с мелколистными формами [26, с. 30].

Испытание десяти сортов и сортообразцов узколистного люпина, проводимые в 2017–2020 гг. в Брянской области, показали наибольшую урожайность сорта Узколистный 53-02 – 2,69 т/га, УСН 53-236 – 2,63 т/га и Брянский кормовой – 2,51 т/га [27, с. 17].

Люпин узколистный наиболее скороспелый, менее теплолюбивый, может занимать всю территорию России по границам открытого земледелия. В севообороте является прекрасным предшественником и хорошим фитосанитаром. Алкалоиды оказывают фунгистатическое воздействие на почву. При разложении пожнивных и корневых остатков подавляется развитие многих патогенных грибов, в том числе возбудителей корневых гнилей зерновых культур. Уменьшается поражение картофеля паршой, ризоктонией и нематодой.

В смешанном посеве со злаковой культурой поражение бобов люпина оказалось значительно меньше: у люпина белого в 1,4–1,6, а у узколистного – в 1,3–2,3 раза. То есть в смешанном посеве люпина со злаковой культурой создаются условия, которые менее благоприятны для развития и распространения патогена, что снижает поражение растений и бобов люпина [28, с. 55].

На Среднем Урале сейчас сложились наилучшие климатические условия для возделывания люпина узколистного на зерно: сумма эффективных температур более 1700 °С, осадков за вегетацию – 250 мм, длительность безморозного периода – более 110 дней. Сорта люпина желтого и белого имеют длинный вегетационный период, могут выращиваться только на зеленую массу с использованием завозных семян.

В последние годы выведено много новых сортов узколистного люпина, поэтому возникла необходимость испытать их продуктивность в разных почвенно-климатических условиях.

Методология и методы исследования (Methods)

Подбор и оценка новых сортов зернобобовых культур применительно для агроклиматических и экономических условий Среднего Урала, которые могут давать стабильный урожай зерна с высокими посевными качествами, являются важной задачей в настоящее время.

Введение в оборот новых культур сможет увеличить площади и сбор зерна. Одной из таких культур может стать люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) – высокобелковая зернобобовая культура, выращиваемая на зерно, зеленый корм, силос, сенаж, сидерат. По урожайности не уступает гороху и сое, а по аминокислотному составу превосходит их.

Цель исследований заключалась в оценке возделывания новых сортов люпина узколистного для почвенно-климатических условий Свердловской области в одновидовых посевах при выращивании на зерно.

Для выполнения данной цели были поставлены следующие задачи:

- выявить перспективные сорта люпина пригодные для стабильного получения зерна;
- изучить особенности роста, развития растений и формирования урожая в одновидовых посевах.

Основным методом проведения исследований являлась закладка полевых опытов. Исследования в 2016–2017 гг. проводились на опытном участке Уральского НИИСХ, расположенном в лесостепной зоне Свердловской области.

Основные наблюдения и учеты проводились по методике ВНИИ кормов.

Статистическую обработку полученных результатов проводили по Б. А. Доспехову [29].

Анализ растительных образцов и почвы определены в аналитической лаборатории Уральского НИИСХ по общепринятым методикам и ГОСТам. Почва опытного участка темно-серая лесная, тяжелосуглинистая.

Агротехника общепринятая для зоны Среднего Урала. Минеральные удобрения в экологическом испытании вносили перед культивацией из расчета НРК по 30 кг д. в. на 1 га. Норма высева люпина – 2,0 млн всхожих зерен на гектар. Посев проводился рядовым способом сеялкой СКС-6-10, глубина посева – 3–4 см, уборка деланок – комбайном Сампо 130.

В 2021–2022 гг. полевые и лабораторные исследования были проведены в учебно-опытном хозяйстве Уральского ГАУ. Погодные условия в годы проведения исследований были засушливыми, с значительными колебаниями температуры, относительной влажности воздуха и неравномерным распределением осадков. Почва опытного участка – чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое – 4,13 %, рН солевой вытяжки – 5,6, легкого гидролизующего азота по Корнфилду – 137,0 мг/кг, подвижного фосфора – 142,0 мг/кг, обменного калия по Кирсанову – 155,0 мг/кг почвы. Предшественник – яровая пшеница. Объект исследований – сорта люпина узколистного. Полевые опыты закладывали по общепринятым методическим рекомендациям. Площадь учетных деланок – 2 м², размещение деланок систе-

матическое, повторность трехкратная. Норма высева – 130 шт. всхожих семян на 1 м², глубина заделки – 3–4 см. Фенологические наблюдения проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, высоту растений определяли в соответствии с Методическими указаниями по проведению полевых опытов с кормовыми культурами ВНИИ кормов [30]. Уборку урожая определяли поделочно вручную.

Результаты (Results)

В решении проблемы белка в растениеводстве и животноводстве важную роль играют зернобобовые культуры. Они способствуют поддержанию плодородия почвы, являются отличными предшественниками в севообороте для зерновых культур, что актуально в связи с высоким ростом цен на минеральные удобрения. Так, люпин узколистный способен улучшать тяжелые почвы и повышать эффективность физиологически кислых минеральных удобрений.

Люпин является отличным предшественником и фитосанитаром для всех зерновых и пропашных культур, что дает ему значительные преимущества в сравнении с другими культурами. Лучшие предшественники для люпина – озимые и яровые зерновые, озимый рапс. Другие бобовые культуры являются плохими предшественниками из-за самонесовместимости. Выращивать его повторно на одном и том же поле следует не ранее, чем через 4–5 лет.

Для оптимального решения поставленных задач в 2016–2017 гг. в экологическом испытании участвовали 5 сортов узколистного люпина: Радужный, Узколистный 53, Белозерный 110, Смена, Витязь.

Предшественником в опыте были яровые зерновые. Учетная площадь деланок в экологическом испытании составляла 13 м². Повторность четырехкратная, размещение деланок систематическое.

Агроклиматические условия 2016 г. характеризовались теплой весной с достаточным количеством осадков в апреле и засушливыми условиями с начала вегетации растений до середины августа. Жаркая погода с недостаточным количеством осадков отрицательно сказались на росте и развитии вегетативной массы растений люпина. Высота растений перед уборкой в 2016 г. по всем сортам была в 1,6–2 раза ниже, чем в 2017 г., и варьировала от 33 до 45 см (таблица 1). Растения сорта Белозерный 110 по высоте были на 21,6 % выше, а сорта Радужный и Узколистный 53 – на 8,1–10,8 % ниже стандартного сорта Витязь.

Вегетационный период 2017 г. отличался умеренным температурным режимом и недобором эффективных температур воздуха, обильными, затяжными осадками в июне и июле и дефицитом тепла и осадков в августе. Высота растений по сортам в условиях достаточного увлажнения достигала 64–72 см, что благоприятно отразилось на урожайности зерна.

Таблица 1
Структура урожая люпина узколистного перед уборкой, 2016–2017 гг.

Сорт	Высота растений, см		Количество				Число семян в бобе, шт.	
			Боковых стеблей, шт.		Бобов на растении, шт.			
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Витязь, st.	37,0	72,0	0,8	4,3	3,5	15,5	3,5	4,3
Смена	38,0	68,0	1,7	3,6	4,1	6,7	4,9	4,1
Радужный	34,0	64,0	1,8	4,2	5,1	9,8	2,8	3,1
Узколистный 53	33,0	65,0	2,3	3,1	4,7	4,2	3,9	3,6
Белозерный 110	45,0	71,0	2,2	3,4	5,1	6,3	3,5	4,3

Table 1
The structure of the harvest of narrow-leaved lupine before harvesting, 2016–2017

Varieties	Plant height, cm		Quantity				Number of seeds in a bean, pcs.	
			Side stems, pcs.		Of beans per plant, pcs.			
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Vityaz', st.	37.0	72.0	0.8	4.3	3.5	15.5	3.5	4.3
Smena	38.0	68.0	1.7	3.6	4.1	6.7	4.9	4.1
Raduzhnyy	34.0	64.0	1.8	4.2	5.1	9.8	2.8	3.1
Uzkolistnyy 53	33.0	65.0	2.3	3.1	4.7	4.2	3.9	3.6
Belozernyy 110	45.0	71.0	2.2	3.4	5.1	6.3	3.5	4.3

Таблица 2
Структура урожая люпина узколистного перед уборкой, 2021 г.

Сорт	Урожайность, т/га	Высота растений, см	Количество		
			Боковых стеблей, шт.	Бобов, с растения, шт.	Семян в бобе, шт.
Витязь, st.	2,45	28,6	2,15	5,51	2,8
Брянский кормовой	2,41	29,3	2,26	4,99	2,9
Сидерат 46	1,82	30,8	1,00	4,81	3,8
Коэффициент корреляции r (Витязь)	–	0,3	0,61	0,66	0,95
Коэффициент корреляции r (Брянский кормовой)	–	0,3	0,57	0,93	0,95
Коэффициент корреляции r (Сидерат 46)	–	0,6	0,57	0,87	0,96

Table 2
The structure of the harvest of narrow-leaved lupine before harvesting, 2021

Varieties	Yield, t/ha	Plant height, cm	Quantity		
			Side stems, pcs	Of beans from the plant, pcs.	Of seeds in a bean, pcs.
Vityaz', st.	2.45	28.6	2.15	5.51	2.8
Bryanskiy kormovoy	2.41	29.3	2.26	4.99	2.9
Siderat 46	1.82	30.8	1.00	4.81	3.8
Correlation coefficient r (Vityaz')	–	0.3	0.61	0.66	0.95
Correlation coefficient r (Bryanskiy kormovoy)	–	0.3	0.57	0.93	0.95
Correlation coefficient r (Siderat 46)	–	0.6	0.57	0.87	0.96

По результатам структурного анализа все сорта люпина имели боковые ветви и бобы на них. Число бобов и семян в бобах на растении определяли урожайность зернобобовой культуры.

В 2016 г. наибольшее количество боковых стеблей и бобов на них наблюдалось у сортов Узколистный 53 и Белозерный 110, а в 2017 г. – у сортов Радужный и Витязь. Количество бобов на растении в 2017 г. у сорта Витязь в 1,7–3,6 раза превышало этот показатель у других сортов. Максимальное количество семян в бобе наблюдалось в среднем за два года у сорта Смена (4,5 шт.), а наименьшее – у сорта Радужный (3,0 шт.).

Погодные условия 2021 г. характеризовались острозасушливыми условиями, гидротермический коэффициент за вегетационный период составил 0,53 ед. Посев люпина в 1-ю декаду мая, когда выпала значительная часть осадков месяца, обеспечил дружные всходы, активный рост растений и в дальнейшем прибавку урожая зерна (таблица 2).

Высота растений люпина узколистного, как и в 2016 г., находилась на уровне 28,6–30,8 см. Между высотой растений и урожайностью зерна люпина у сортов Витязь и Брянский кормовой наблюдалась слабая корреляционная зависимость, а у сорта Сидерат 46 – средняя. Наибольшее количество боковых побегов отмечалось у стандартного сорта Витязь и Брянский кормовой – 2,0–2,1 шт. Сорт Сидерат 46 боковых побегов образовывал в 2,0 раза меньше, что в дальнейшем отрицательно отразилось на урожайности зерна. Та же закономерность отмечалась и по количеству бобов с растения. По сравнению с другими сортами Сидерат 46 отличался мелкосемянностью, что характерно для сортов сидерального направления, является полезным хозяйственно-биологическим признаком и позволяет уменьшать норму высева. Количество семян

в бобе было в 1,4 раза больше, а количество бобов на растении было на 12,5 % меньше по сравнению со стандартным сортом Витязь. У сортов Брянский кормовой и Сидерат 46 между урожайностью зерна и количеством бобов с растения и семян в бобе установлена высокая корреляционная зависимость.

Современные сорта люпина отличаются устойчивостью к полеганию, бобы не растрескиваются, что позволяет убирать люпин прямым комбайнированием при полной спелости. Урожайность сортов люпина в 2016 г. составила от 1,13 до 1,54 т/га (таблица 3). В 2017 г. продуктивность сортов была выше, чем в предыдущем году, в 2–3 раза у всех сортов, за исключением сорта Узколистный 53. Данный год был более комфортным для культуры, что позволило получить высокую урожайность зерна у большинства сортов. В среднем за 2 года максимальную продуктивность показали сорта Радужный, Витязь и Белозерный 110 (2,14–2,41 т/га).

Содержание жира в 2016 г. в зерне у всех изучаемых сортов составляло 7,70–8,16 %, что было выше на 2,06–2,66 % чем в 2017 г. Наиболее высоким содержанием жира в 2016 г. отличился сорт Смена, а в 2017 г. – сорт Радужный. В среднем за два года у всех сортов этот показатель был выше 6 %.

Массы 1000 зерен в среднем за 2 года у сортов практически не отличалась. Лишь у сорта Витязь этот показатель в 2017 г. был на 26,4 % выше, чем в 2016 г. Наибольшая масса 1000 зерен отмечалась у сорта Радужный (135,0–138,0 г), а наименьшая – у сорта Белозерный 110 (97,0–98,0 г).

Урожайность зерна люпина в 2021 г. у сорта Брянский кормовой была на уровне стандартного сорта Витязь – 2,41 т/га, у сорта Сидерат 46 отмечено существенное снижение урожайности на 0,63 т/га относительно контроля (НСР₀₅ 0,19 т/га) (таблица 4).

Таблица 3
Продуктивность сортов узколистного люпина, убранного на зерно, 2016–2017 гг.

Сорт	Урожайность, т/га			Масса 1000 зерен, г	
	2016	2017	Среднее	2016	2017
Витязь, st.	1,24	3,57	2,41	106,0	134,0
Смена	1,32	2,61	1,97	93,0	108,0
Радужный	1,13	3,63	2,38	135,0	138,0
Узколистный 53	1,54	1,94	1,74	107,0	106,0
Белозерный 110	1,20	3,08	2,14	97,0	98,0

Table 2
Productivity of varieties of narrow-leaved lupine harvested for grain, 2016–2017

Varieties	Yield, t/ha			Weight of 1000 grains, g	
	2016	2017	Average	2016	2017
Vityaz', st.	1.24	3.57	2.41	106.0	134.0
Smena	1.32	2.61	1.97	93.0	108.0
Raduzhnyy	1.13	3.63	2.38	135.0	138.0
Uzkolistnyy 53	1.54	1.94	1.74	107.0	106.0
Belozernyy 110	1.20	3.08	2.14	97.0	98.0

Таблица 4

Продуктивность сортов узколистого люпина, убранного на зерно в 2021–2022 гг., т/га

Сорт	Урожайность, т/га		Среднее за 2021–2022 гг.	Масса 1000 зерен, г	
	2021	2022		2021	2022
Витязь, st.	2,45	2,40	2,43	157,0	154,0
Брянский кормовой	2,41	1,79	2,10	146,0	140,0
Сидерат 46	1,82	1,34	1,58	98,0	96,0
НСР ₀₅	0,19	0,22	–	–	–

Table 4

Productivity of varieties of narrow-leaved lupine harvested for grain in 2021–2022, t/ha

Varieties	Yield, t/ha		Average for 2021–2022	Weight of 1000 grains, g	
	2021	2022		2021	2022
Vityaz', st.	2.45	2.40	2.43	157.0	154.0
Bryanskiy kormovoy	2.41	1.79	2.10	146.0	140.0
Siderat 46	1.82	1.34	1.58	98.0	96.0
LSD ₀₅	0.19	0.22	–	–	–

В 2022 г. вегетационный период для сельскохозяйственных культур характеризовался в первой половине умеренными температурами воздуха с избыточным количеством осадков, а во второй половине – жаркой погодой с острым дефицитом почвенной влаги. В связи с неблагоприятными погодными условиями и более поздним сроком посева (29 мая) урожайность зерна люпина в 2022 г. по всем сортам была получена ниже, чем в 2021 г., на 2,0–26,4 %. Сорт Витязь достоверно превышал по урожайности сорт Брянский кормовой на 0,61 т/га, а Сидерат 46 – на 1,06 т/га. В среднем за 2 года урожайность сортов составила от 1,58 до 2,43.

Масса 1000 зерен у сортов люпина за 2021–2022 гг. практически не отличалась. У сорта Сидерат 46 данный показатель был в 1,5–1,6 раза меньше по сравнению с сортами Витязь и Брянский кормовой.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По итогам проведенных исследований можно сделать выводы, что в природно-климатических условиях Среднего Урала люпин узколистый является

культурой довольно перспективной для выращивания на зернофураж и семена. Он имеет низкие затраты на производство, так как может выращиваться на бедных почвах без внесения азота. В отличие от сои люпин узколистый имеет более короткий период вегетации и требует меньшей суммы положительных температур для получения зерна.

Сравнительный анализ растений перед уборкой показал, что все сорта имели боковые ветви и бобы на них. При экологическом испытании 5 сортов люпина узколистого в течение 2016/2017 г. с урожайностью выше 2,0 т/га выделились сорта Витязь (2,41 т/га), Радужный (2,38 т/га) и Белозерный 110 (2,14 т/га), а в 2021/2022 г. – сорта Витязь (2,43 т/га) и Брянский кормовой (2,1 т/га). Такая продуктивность люпина узколистого может конкурировать с традиционной для Среднего Урала зернобобовой культурой – горохом.

Применение современных сортов, адаптированных к конкретным условиям, позволит получать дешевый белок за счет азотфиксации без затрат на дорогостоящие азотные удобрения.

Библиографический список

1. Fedorova Z. N. Protein concentrates based on extruded lupine grain, with the use of enzymes, in feeding calves and poultry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants. 2021. Vol. 663. Article number 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012021.
2. Кудеяров В. Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 109–121.
3. Трофимова Т. А., Коржов С. И., Гулевский В. А., Образцов В. Н. Оценка степени физической деградации и пригодности черноземов к минимизации основной обработки почвы // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1125–1131.
4. Панфилов В. А. Вектор научных изысканий при создании технологий АПК будущего // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 4–8.
5. Пилипенко Н. Г., Андреева О. Т. Влияние длительного систематического применения удобрений на основные показатели плодородия почвы и продуктивность кормового севооборота на глубокопромерзающей лугово-черноземной почве Забайкалья // Почвоведение. 2019. № 5. С. 578–585.

6. 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.
7. Robles-Aguilar A. A., Grunert O., Hernandez-Sanabria E., Mysara M., Meers E., Boon N., Jablonowski N. D. Effect of Applying Struvite and Organic N as Recovered Fertilizers on the Rhizosphere Dynamics and Cultivation of Lupine (*Lupinus angustifolius*) // *Frontiers in Plant Science* 2020. No. 11. Article number 572741. DOI: 10.3389/fpls.2020.572741.
8. Новик Н. В., Степаненко А. А., Якуб И. А. Зеленоукозное направление селекции люпина желтого // *Адаптивное кормопроизводство*. 2018. № 1. С. 35–40.
9. Агеева П. А., Почутина Н. А., Пигарева С. А. Сравнительная характеристика кормовых сортов по качеству зерна и зеленой массы // *Адаптивное кормопроизводство*. 2018. № 1. С. 42–48.
10. Агеева П. А., Матюхина М. В., Почутина Н. А., Громова О. М. Результаты и перспективы селекции сидеральных сортов узколистного люпина во Всероссийском научно-исследовательском институте люпина // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020. № 2 (34). С. 59–63. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11170.
11. Агеева П. А., Почутина Н. А., Матюхина М. В. Люпин узколистный – источник ценных питательных веществ для использования в кормопроизводстве // *Кормопроизводство*. 2020. № 10. С. 29–33 DOI: 10.25685/KRM.2020.11.40.001.
12. Агеева П. А., Почутина Н. А. Агробиологическая оценка сортов и сортообразцов узколистного люпина в условиях засушливого гидротермического режима // *Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XVII Международной научной конференции*. Брянск, 2020. С. 246–253.
13. Косолапов В. М., Яговенко Г. Л., Лукашевич М. И., Агеева П. А. [и др.] Люпин: селекция, возделывание, использование: монография. Брянск: Брянское областное полиграфическое объединение, 2020. 304 с.
14. Исаева Е. И., Яговенко Г. Л. Продуктивность звена севооборота с люпином при разных способах основной обработки почвы // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 4 (76). С. 50–53. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-50-53.
15. Vishnyakova M. A., Kushnareva A. V., Shelenga T. V., Egorova G. P. Alkaloids of narrow-leaved lupine as a factor determining alternative ways of the crop's utilization and breeding // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. No. 24 (6). Pp. 625–635. DOI: 10.18699/VJ20.656.
16. Артюхов А. И. 100 теорем (утверждений) о люпине [Электронный ресурс]. URL: http://www.infotechno.ru/tos-soya2018/dok_artuyhov1_2018.php (дата обращения: 14.11.2022).
17. Пимохова Л. И., Мисникова Н. В., Яговенко Г. Л., Царапнева Ж. В., Хараборкина Н. И. Изучение протравителя Протект Форте против антракноза и других болезней люпина белого // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. № 35 (11). С. 25–30. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_11_25.
18. Юферева Н. И., Леконцева Т. А., Стаценко Е. С. Изучение люпина узколистного на зерно в условиях Кировской области // *Пермский аграрный вестник*. 2019. № 4 (28). С. 81–88.
19. Крамаренко В. Я., Анисимов Ю. Б., Агеев А. А., Шумакова О. И. Оценка сортов люпина в условиях повышения теплообеспечения вегетационного периода в северной лесостепи Южного Урала // *Научный журнал «АПК России»*. 2019. Т. 26. № 5. С. 763–768.
20. Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Zakharova M. V. Status and prospects of breeding of cultivated species of lupin in Russia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants*. 2021. Article number 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012014.
21. Тормозин М. А., Беляев А. В., Тихолаз Е. М. Влияние обработки растений по вегетации стимуляторами роста и средствами защиты на семенную продуктивность овсяницы луговой сорта Надежда // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 11 (202). С. 28–36.
22. Ближник А. С., Демидова А. Г., Наумкина Л. А., Куренская О. Ю., Лукашевич М. И. Результаты испытания новых сортов и образцов люпина белого в лесостепи Центрально-Черноземного региона // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 3 (75). С. 51–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-51-56.
23. Тютюнов С. И. Инновационные направления использования белого люпина в современных условиях // *Инновационные технологии выращивания люпина белого и других зерновых культур: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием Белгородского НИИСХ*. Белгород, 2017. С. 9–15.
24. Агафонова С. В., Рыков А. И. // *Химия растительного сырья*. 2021. № 3. С. 135–142. DOI: 10.14258/jcrpm.2021038358.
25. Гагаулина Г. Г., Бельштина М. Е., Медведева Н. В. Урожайность семян и элементы продуктивности у разнотипных сортов люпина белого (*lupinus albus* L.) в разные по метеорологическим условиям годы // *Известия ТСХА*. 2016. № 6. С. 32–44.

26. Власова Е. В., Охотникова М. А. Оценка водоудерживающей способности листьев у образцов *Lupinus Angustifolius* L. // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 1 (26). С. 27–30.
27. Агеева П. А., Матюхина М. В., Почутина Н. А., Громова О. М. Результаты оценки сортов узколистного люпина по хозяйственно ценным признакам и адаптивности в условиях Брянской области // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 5. С. 15–17.
28. Пимохова Л. И., Яговенко Г. Л., Царапнева Ж. В., Мисникова Н. В. Развитие белой гнили на люпине узколистом и белом в одновидовом и смешанном посевах при разных погодных условиях Брянской области // Сельскохозяйственная биология. 2020. № 55 (6). С. 1257–1267. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1257eng.
29. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
30. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. Москва: РАСХН, ВНИИ кормов, 1997. 155 с.

Об авторах:

Валентина Викторовна Чулкова¹, доцент, заведующая кафедрой растениеводства и селекции, ORCID 0000-0003-4757-9665, AuthorID 1061367; +7 908 916-40-75, vchulkova75@mail.ru

Галина Владимировна Вяткина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства, ORCID 0000-0001-5520-0382, AuthorID 441039; +7 904 545-29-64, vyatkina.galya@mail.ru

Вячеслав Аркадьевич Чулков¹, доцент кафедры почвоведения, агроэкологии и химии им. профессора Н. А. Иванова, ORCID 0000-0001-9268-4734, AuthorID 653859; +7 950 195-04-68, ares_68@mail.ru

Татьяна Викторовна Павленкова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства и селекции, ORCID 0000-0002-1474-5957, AuthorID 707929; +7 904 548-11-43, pavlenkova_tatyana2@mail.ru

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Productivity of varieties of narrow-leaves lupine in the conditions of the Middle Urals

V. V. Chulkova¹✉, G. V. Vyatkina¹, V. A. Chulkov¹, T. V. Pavlenkova¹

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: vchulkova75@mail.ru

Abstract. The purpose is to establish the effectiveness of growing narrow-leaved lupine for grain in the conditions of the Sverdlovsk region. For the first time, new varieties of narrow-leaved lupine of the All-Russian Lupin Research Institute were used for ecological testing in these soil and climatic conditions in single-species crops when grown for grain. **Research methodology and methods.** The main method of conducting research was the laying of field experiments. Research in 2016–2017 they were conducted at the site of the Ural Research Institute, in 2021–2022 in the educational and experimental farm of the Ural State Agrarian University, located in the forest-steppe zone of the Sverdlovsk region. The main observations and records were carried out according to the methodology of the Institute of Feed. The yield was determined by the weight method with the selection of average samples. **Results.** In 2016–2017, 5 varieties of narrow-leaved lupine were studied: Raduzhnyy, Uzkolistnyy 53, Belozernyy 110, Smena, Vityaz', and in 2021–2022, 3 varieties: Siderate 46, Bryanskiy kormovoy and Vityaz'. All varieties of narrow-leaved lupine had side branches and beans on them before harvesting. The greatest number of lateral stems and beans was observed in the varieties Raduzhnyy and Vityaz' in 2017 – 4.2–4.3 pcs. In 2016, the yield of narrow-leaved lupine grain from 1.13 to 1.54 t/ha was obtained on dark gray soil. In more favorable moisture conditions in 2017, the productivity of narrow-leaved lupine was 2–3 times higher than in the previous year in all varieties except for the Uzkolistnyy 53 variety. In acutely arid conditions 2021–2022 on podzolized chernozem, varieties of narrow-leaved lupine: Bryanskiy kormovoy, Vityaz' and Siderat 46 provided grain yields from 1.34 t/ha for the Siderat 46 variety to 2.45 t/ha for the Vityaz' variety. **Scientific novelty.** The effectiveness of growing new varieties of narrow-leaved lupine in the conditions of the Middle Urals was studied for the first time. Varieties have been established that allow obtaining high grain yields.

Keywords: leguminous crop, varieties, narrow-leaved lupine, protein, plant development, crop structure, grain yield.

For citation: Chulkova V. V., Vyatkina G. V., Chulkov V. A., Pavlenkova T. V. Produktivnost' sortov lyupina uzkolistnogo v usloviyakh Srednego Urala [Productivity of varieties of narrow-leaves lupine in the conditions of the Middle Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue "Biology and biotechnologies". Pp. 69–80. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-69-80. (In Russian.)

Date of paper submission: 15.11.2022, **date of review:** 25.11.2022, **date of acceptance:** 01.12.2022.

References

1. Fedorova Z. N. Protein concentrates based on extruded lupine grain, with the use of enzymes, in feeding calves and poultry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants. 2021. Vol. 663. Article number 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012021.
2. Kudiyarov V. N. Pochvenno-biogeokhimicheskie aspekty sostoyaniya zemledeliya v Rossiyskoy Federatsii [Soil and biogeochemical aspects of the state of agriculture in the Russian Federation] // Plodorodie. 2019. No. 1. Pp. 109–121. (In Russian.)
3. Trofimova T. A., Korzhov S. I., Gulevskiy V. A., Obraztsov V. N. Otsenka stepeni fizicheskoy degradatsii i prigodnosti chernozemov k minimizatsii osnovnoy obrabotki pochvy [Assessment of the degree of physical degradation and suitability of chernozems to minimize basic tillage] // Pochvovedenie. 2018. No. 9. Pp. 1125–1131. (In Russian.)
4. Panfilov V. A. Vektor nauchnykh izyskaniy pri sozdaniy tehnologiy APK budushchego [Vector of scientific research in the creation of agricultural technologies of the future] // Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2020. No. 1. Pp. 4–8. (In Russian.)
5. Pilipenko N. G., Andreeva O. T. Vliyaniye dlitel'nogo sistematicheskogo primeneniya udobreniy na osnovnye pokazateli plodorodiya pochvy i produktivnost' kormovogo sevooborota na glubokopromerzayushchey lugovochernozemnoy pochve Zabaykal'ya [The effect of long-term systematic application of fertilizers on the main indicators of soil fertility and productivity of fodder crop rotation on the deep-freezing meadow-chernozem soil of Transbaikalia] // Pochvovedenie. 2019. No. 5. Pp. 578–585. (In Russian.)
6. 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)] // Pochvovedenie. 2018. No. 12. Pp. 1506–1516. (In Russian.)
7. Robles-Aguilar A. A., Grunert O., Hernandez-Sanabria E., Mysara M., Meers E., Boon N., Jablonowski N. D. Effect of Applying Struvite and Organic N as Recovered Fertilizers on the Rhizosphere Dynamics and Cultivation of Lupine (*Lupinus angustifolius*) // Frontiers in Plant Science 2020. No. 11. Article number 572741. DOI: 10.3389/fpls.2020.572741.
8. Novik N. V., Stepanenko A. A., Yakub I. A. Zelenoukosnoye napravleniye selektsii lyupina zheltogo [Directions of selection of yellow lupine for green mass] // Adaptive feed production. 2018. No. 1. Pp. 35–40. (In Russian.)
9. Ageeva P. A., Pochutina N. A., Pigareva S. A. Sravnitel'naya kharakteristika kormovykh sortov po kachestvu zerna i zelenoy massy [Comparative characteristics of feed varieties by grain quality and green mass] // Adaptive feed production. 2018. No. 1. Pp. 42–48. (In Russian.)
10. Ageeva P. A., Matyukhina M. V., Pochutina N. A., Gromova O. M. Rezul'taty i perspektivy selektsii sidental'nykh sortov uzkolistnogo lyupina vo Vserossiyskom nauchno-issledovatel'skom institute lyupina [Results and prospects of selection of sidental varieties of narrow-leaved lupin in the All-Russian Scientific Research Institute of Lupin] // Legumes and cereals. 2020. No. 2 (34). Pp. 59–63. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11170. (In Russian.)
11. Ageeva P. A., Pochutina N. A., Matyukhina M. V. Lyupin uzkolistnyy – istochnik tsennykh pitatel'nykh veshchestv dlya ispol'zovaniya v kormoproizvodstve [Narrow-leaved Lupin – a source of valuable nutrients for use in feed production] // Feed production. 2020. No. 10. Pp. 29–33 DOI: 10.25685/KRM.2020.11.40.001. (In Russian.)
12. Ageeva P. A., Pochutina N. A. Agrobiologicheskaya otsenka sortov i sortoobraztsov uzkolistnogo lyupina v usloviyakh zasushlivogo gidrotermicheskogo rezhima [Agrobiological assessment of varieties and cultivars of narrow-leaved lupine in conditions of arid hydrothermal regime] // Agroekologicheskie aspekty ustoychivogo razvitiya APK: materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Bryansk, 2020. Pp. 246–253. (In Russian.)
13. Kosolapov V. M., Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A. et al. Lyupin: selektsiya, vozdel'yvaniye, ispol'zovaniye: monografiya [Lupin: breeding, cultivation, use: a monograph]. Bryansk: Bryanskoe oblastnoye poligraficheskoe ob'edineniye, 2020. 304 p. (In Russian.)

14. Isaeva E. I., Yagovenko G. L. Produktivnost' zvena sevooborota s lyupinom pri raznykh sposobakh osnovnoy obrabotki pochvy [Productivity of the crop rotation link with lupin at different methods of basic tillage] // Grain farming of Russia. 2021. No. 4 (76). Pp. 50–53. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-50-53. (In Russian.)
15. Vishnyakova M. A., Kushnareva A. V., Shelenga T. V., Egorova G. P. Alkaloids of narrow-leaved lupine as a factor determining alternative ways of the crop's utilization and breeding // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. No. 24 (6). Pp. 625–635. DOI: 10.18699/VJ20.656.
16. Artyukhov A. I. 100 teorem (utverzhdenny) o lyupine [100 theorems (statements) about lupin] [e-resource]. URL: http://www.infotechno.ru/ros-soya2018/dok_artyuhov1_2018.php (date of reference: 14.11.2022. (In Russian.)
17. Pimokhova L. I., Misnikova N. V., Yagovenko G. L., Tsarapneva Zh. V., Kharaborkina N. I. Izuchenie protivitelya Protekt Forte protiv antraknoza i drugikh bolezney lyupina belogo [Study of the protectant Forte Project against anthracnose and other diseases of white lupin] // Achievements of science and technology of the Agro-industrial Complex. 2021. No. 35 (11). Pp. 25–30 DOI: 10.53859/02352451_2021_35_11_25. (In Russian.)
18. Yufereva N. I., Lekontseva T. A., Statsenko E. S. Izuchenie lyupina uzkolistnogo na zerno v usloviyakh Kirovskoy oblasti [Study of narrow-leaved lupine for grain in the conditions of the Kirov region] // Perm Agrarian Bulletin. 2019. No. 4. (28). Pp. 81–88. (In Russian.)
19. Kramarenko V. Ya., Anisimov Yu. B., Ageev A. A., Shumakova O. I. Otsenka sortov lyupina v usloviyakh povysheniya teploobespecheniya vegetatsionnogo perioda v severnoy lesostepi Yuzhnogo Urala [Evaluation of lupin varieties in conditions of increased heat supply of the growing season in the northern forest-steppe of the Southern Urals] // Scientific Journal "Agroindustrial Complex of Russia". 2019. Vol. 26. No. 5. Pp. 763–768. (In Russian.)
20. Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Zakharova M. V. Status and prospects of breeding of cultivated species of lupin in Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants. 2021. Article number 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012014.
21. Tormozin M. A., Belyaev A. V., Tikholaev E. M. Vliyanie obrabotki rasteniy po vegetatsii stimulyatorami rosta i sredstvami zashchity na semennuyu produktivnost' ovsyaniy lugovoy sorta Nadezhda [The influence of plant treatment during vegetation with growth stimulants and protective agents on the seed productivity of meadow fescue of the Nadezhda variety] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 11 (202). Pp. 28–36. (In Russian.)
22. Blinnik A. S., Demidova A. G., Naumkina L. A., Kurenskaya O. Yu., Lukashevich M. I. Rezul'taty ispytaniya novykh sortov i obraztsov lyupina belogo v lesostepi Tsentral'no-Chernozemnogo regiona [Results of testing of new varieties and samples of white lupin in the forest-steppe of the Central Chernozem region] // Grain farming of Russia. 2021. No. 3 (75). Pp. 51–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-51-56. (In Russian.)
23. Tyutyunov S. I. Innovatsionnye napravleniya ispol'zovaniya belogo lyupina v sovremennykh usloviyakh [Innovative directions of using white lupin in modern conditions] // Innovatsionnye tekhnologii vyrashchivaniya lyupina belogo i drugikh zernovykh kul'tur: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem Belgorodskogo NIISKh 13–17 iyunya 2017 g. Belgorod, 2017. Pp. 9–15. (In Russian.)
24. Agafonova S. V., Rykov A. I. Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw materials]. 2021. No. 3. Pp. 135–142. DOI: 10.14258/jcprm.2021038358. (In Russian.)
25. Gataulina G. G., Belyshkina M. E., Medvedeva N. V. Urozhaynost' semyan i elementy produktivnosti u raznotipnykh sortov lyupina belogo (lupines albus L.) v raznye po meteorologicheskim usloviyam gody [Seed yield and productivity elements in varieties of different types of white lupine (lupines albus L.) in different meteorological conditions years] // Izvestiya TSKHA. 2016. No. 6. Pp. 32–44. (In Russian.)
26. Vlasova E. V., Okhotnikova M. A. Otsenka vodouderzhivayushchey sposobnosti list'ev u obraztsov Lupinus Angustifolius L. [Assessment of the water-retaining ability of leaves in samples of Lupinus Angustifolius L.] // Agrarian Bulletin of the Upper Volga region. 2019. No. 1 (26). Pp. 27–30. (In Russian.)
27. Ageeva P. A., Matyukhina M. V., Pochutina N. A., Gromova O. M. Rezul'taty otsenki sortov uzkolistnogo lyupina po khozyaystvenno tsennym priznakam i adaptivnosti v usloviyakh Bryanskoy oblasti [The results of the evaluation of varieties of narrow-leaved lupine on economically valuable traits and adaptability in the Bryansk region] // Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2021. No. 5. Pp. 15–17. (In Russian.)
28. Pimokhova L. I., Yagovenko G. L., Tsarapneva Zh. V., Misnikova N. V. Razvitie beloy gnili na lyupine uzkolistnom i belom v odnovidovom i smeshannom posevakh pri raznykh pogodnykh usloviyakh Bryanskoy oblasti [Development of white rot on narrow-leaved and white lupine in single-species and mixed crops under different weather conditions of the Bryansk region] // Agricultural Biology. 2020. No. 55 (6). Pp. 1257–1267. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1257eng. (In Russian.)

29. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. 5th ed., supplement and revision. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russian.)
30. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami [Methodological guidelines for conducting field experiments with fodder crops]. Moscow: RASKhN, VNII kormov, 1997. 155 p. (In Russian.)

Authors' information:

Valentina V. Chulkova¹, associate professor, head of the department of crop production and breeding, ORCID 0000-0003-4757-9665, AuthorID 1061367; +7 908 916-40-75, vchulkova75@mail.ru

Galina V. Vyatkina¹, candidate of agricultural sciences, associate professor, department of land management, ORCID 0000-0001-5520-0382, AuthorID 441039; +7 904 545-29-64, vyatkina.galya@mail.ru

Vyacheslav A. Chulkov¹, associate professor, department of soil science, agroecology and chemistry named after professor N. A. Ivanov, ORCID 0000-0001-9268-4734, AuthorID 653859; +7 950 195-04-68, ares_68@mail.ru

Tatyana V. Pavlenkova¹, candidate of agricultural sciences, associate professor, department of plant growing and breeding, ORCID 0000-0002-1474-5957, AuthorID 707929; +7 904 548-11-43, pavlenkova_tatyana2@mail.ru

¹Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Состояние кишечника цыплят-бройлеров при включении в рацион фитобиотической добавки

Е. В. Шацких¹✉, Д. Е. Королькова-Субботкина¹

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: evshackih@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – оценка состояния кишечного тракта у цыплят-бройлеров при включении в рацион фитобиотического препарата. **Методы.** Исследования были проведены в рамках научно-хозяйственного опыта на бройлерах кросса Росс-308, сформированных в контрольную и опытную группы ($n = 44$). Опытная птица дополнительно к основному рациону с 5-го дня жизни получала фитобиотическую добавку в количестве 0,15 г на 1 кг корма. В ходе эксперимента оценивали массу и длину кишечника цыплят; микрофлору слепых отростков по результатам микробиологического посева на необходимые селективные питательные среды; морфогистологические изменения в двенадцатиперстной и слепой кишке. **Результаты.** Выявлена тенденция увеличения длины кишечника у цыплят-бройлеров опытной группы: в возрасте 29 дней он был длиннее, чем у цыплят контрольной группы, на 3,8 %, в 37 дней – на 2,2 %. Включение фитобиотика в рацион бройлеров не отразилось на состоянии нормофлоры слепых отростков птиц, но оказало существенное влияние на снижение количества потенциально патогенных представителей микробиоты *Staphylococcus Saprophyticus* и *Trichosporon asahii*. Морфогистологические исследования демонстрировали умеренно протекающие процессы воспаления в слепых отростках у опытных цыплят к концу технологического цикла (37 дней) и наличие активизированных лимфоидных фолликулов на фоне выраженной воспалительной инфильтрации этого органа в контрольных образцах. **Научная новизна** заключается в том, что впервые проведены исследования по изучению влияния нового фитобиотического препарата на развитие кишечного тракта цыплят-бройлеров, на состав микрофлоры слепых отростков, морфогистологическое состояние двенадцатиперстной и слепой кишки. Дано заключение о благоприятном воздействии изучаемого препарата на структуру и функции анализируемых органов, что, в свою очередь, является биологической предпосылкой позитивного влияния его на переваримость и использование питательных веществ комбикорма, а следовательно, и на основные показатели продуктивности птицы.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, фитобиотик, микрофлора кишечника, кормовые антибиотики, патогенная микрофлора, биологически активные добавки.

Для цитирования: Шацких Е. В., Королькова-Субботкина Д. Е. Состояние кишечника цыплят-бройлеров при включении в рацион фитобиотической добавки // Аграрный вестник Урала. 2022. Спецвыпуск «Биология и биотехнологии». С. 81–91. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-81-91.

Дата поступления статьи: 28.11.2022, **дата рецензирования:** 08.12.2022, **дата принятия:** 14.12.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Птицеводство XXI века характеризуется рядом особенностей, в первую очередь высокой интенсивностью. Современным птицеводческим предприятиям очень важно на всех этапах выращивания цыплят-бройлеров учитывать множество факторов, которые каким-либо образом могут повлиять на качество и количество конечного результата [1–3]. Именно получение качественной продукции в необходимом количестве является главной задачей любого предприятия, которое занимается производством мяса бройлеров. Чтобы получать качественную птицеводческую продукцию, должен обеспечиваться контроль над состоянием здоровья

поголовья птицы. Для осуществления таких задач нужно своевременно на протяжении всего периода роста птицы проводить анализ и оценку показателей основных функциональных систем организма бройлеров.

Особое внимание должно быть направлено на мониторинг функционирования кишечника цыплят-бройлеров. Именно кишечная микрофлора принимает огромное участие в организации нормальной работы всего живого организма [4–6].

Как известно, в кишечнике присутствует особая система микроорганизмов, которая носит название микробиоты.

Под данным термином принято понимать совокупность различных микроорганизмов, способном существования у которых может быть комменсализм или симбиоз. Установлено, что микробиота оказывает значительное влияние на иммунологический и гормональный статус хозяина, а также на его метаболический гомеостаз [7–9].

В начале XXI века различные ученые-исследователи начали говорить о том, что микробиота – это новый «орган» в теле позвоночных животных. От общей массы тела он составляет лишь 2 %, и в его состав входит около 100 миллиардов клеток. На сегодняшний день не изобретено еще такого устройства, которое позволило бы рассмотреть микробиоту. Но доказано, что ее состояние и состояние здоровья хозяина находятся в прямой зависимости. То есть если здорова микробиота, то здорова птица или животное [10].

К основным представителям кишечной микрофлоры животных и птиц относятся различные бактерии, например лактобактерии, бифидобактерии и другие. Безусловно, в микробиоте всегда присутствуют условно-патогенные микроорганизмы, представителями которых, например, являются клостридии. Как только количество патогенных микроорганизмов превышает возможно допустимые показатели и превосходит количество полезных бактерий в желудочно-кишечном тракте, начинают проявляться негативные последствия, которые ухудшают правильное и эффективное функционирование организма в целом [11; 12].

Различные микроорганизмы заселяют кишечник в организме птицы в момент вывода. Путей заселения в условиях птицефабрик множество. Источниками могут служить воздух помещения, вода в поилках, корма и т. д. [13].

Как одну из самых актуальных проблем современного птицеводства можно считать наличие у бройлеров различных заболеваний желудочно-кишечного тракта [14; 15]. И связаны эти нарушения в первую очередь с тем, что в кишечнике увеличивается количество патогенных микроорганизмов за счет уменьшения полезных. Иными словами, нарушается баланс микробиоты. Факт наличия данной проблемы именно в бройлерном птицеводстве обусловлен технологией выращивания, ее интенсивностью. У молодых цыплят в первые дни жизни еще не до конца сформирована микрофлора ЖКТ, и любые неблагоприятные факторы угнетающе влияют на ее состояние [16].

Одним из методов, который на протяжении последних десятилетий применялся для предотвращения развития патогенной микрофлоры в кишечнике цыплят, является включение кормовых антибиотиков в рацион птицы с первых дней ее жизни. Но в результате возникла новая проблема: патогенные микроорганизмы стали развивать защитные меха-

низмы к используемым антибиотикам, иначе говоря, развилась резистентность, то есть устойчивость [17].

Проблема эта явилась одной из самых опасных для всего человечества, так как стало неэффективным лечение ранее разработанными антибиотиками различных серьезных заболеваний, например туберкулеза.

В последние десятилетия во всем мире проводились поиски способы выхода из возникшей проблемы, и было предложено заменить кормовые антибиотики на биологически активные добавки, которые в состоянии бороться с патогенной микрофлорой кишечника. К таким добавкам относятся на сегодняшний день и фитобиотики.

Поиску альтернативных препаратов, стимулирующих рост и развитие животных (и птицы в частности), способствовал факт отказа от кормовых антибиотиков. В результате фитобиотические препараты явились рациональным способом замены антибиотических препаратов, которые использовались на протяжении всего периода выращивания сельскохозяйственной птицы и животных. Все это имело положительный эффект при закреплении фитобиотиков на кормовых рынках в агропромышленном секторе. Было установлено, что препараты на растительных компонентах способствуют увеличению количества лакто- и бифидобактерий в кишечнике птицы, которые выполняют ряд важных функций в живом организме, и параллельному снижению численности бактерий, представляющих патогенную микрофлору.

В 1 сентября 2022 г. на территории Российской Федерации вступил в силу закон, который запрещает добавлять в рацион животных препараты, предназначенные для лечения заболеваний, вызванных различными инфекциями и паразитами. Но несмотря на это, полного запрета на использование именно кормовых антибиотиков в технологической схеме выращивания цыплят-бройлеров до сих пор нет.

Российский рынок представляет узкий ассортимент фитобиотических кормовых добавок. Россия существенно отстает от других стран по уровню научно-технологического развития кормовых добавок, предназначенных для животных и птицы.

Все известные в настоящее время формы фитобиотиков подразделяют на группы. Классификация осуществляется по составу и методу получения.

По составу выделяется 4 группы препаратов: из трав; из специй; из эфирных масел; из смол.

По методу получения также выделяются 4 группы: сбор; высушивание и измельчение; холодный отжим (паровая или спиртовая дистилляция); экстракция.

Под фитобиотиками понимают экстракты различных растений. К преимуществам этих препаратов относятся их нетоксичность, благоприятное влияние и способствование повышению иммуно-

го статуса организма. После их приема у птицы не наблюдается побочных действий. А для их создания используются травы, цветы, специи.

В связи с актуальностью данной тематики нами было проведено исследование, в котором оценивалось влияние на развитие и состояние кишечника у цыплят-бройлеров нового фитобиотического препарата, включающего эфирные масла тимьяна, орегано, розмарина и экстракт перца чили.

Методология и методы исследования (Methods)

Базой для проведения экспериментальной части исследования послужил птичник учебно-опытного хозяйства Уральского государственного аграрного университета. Схема научно-хозяйственного опыта представлена в таблице 1.

Суточные цыплята кросса Росс-308 со средней живой массой 42 г были распределены по двум группам, в каждую было посажено по 44 головы. Разница в кормлении птицы контрольной и опытной групп заключалась в том, что цыплята контрольной группы на протяжении всего экспериментального периода, а именно 37 суток, получали в качестве основного рациона полноценный комбикорм, который отвечал всем питательным требованиям для данного кросса, без включения кормового антибиотика. А цыплятам опытной группы начиная с 5-х суток в основной рацион вводили биологически активную добавку на основе растительных компо-

нентов в количестве 0,15 г на 1 кг комбикорма. На протяжении всего технологического периода выращивания напольным способом птица содержалась в одинаковых условиях.

Микробиологическое исследование содержимого толстого отдела кишечника (слепых отростков) проводили в 29-дневном возрасте цыплят. Для этого биоматериал, полученный после вскрытия тушек бройлеров, многократно разводили и подвергали микробиологическому посеву на селективные питательные среды.

Морфогистологические исследования проводились по взятым от 3 голов из каждой группы образцам органов 37-дневных птиц (двенадцатиперстная кишка, толстый отдел кишечника (слепые отростки)). Фиксация материала осуществлялась при помощи 10-процентного раствора нейтрального формалина.

Результаты (Results)

В ходе исследования оценивали степень развития кишечника у цыплят-бройлеров контрольной и опытной групп. Для этого дважды была проведена анатомическая разделка тушек – на 29-й и 37-й день откорма птицы. Оценка кишечника по массе в 29 дней показала, что птица контрольной группы превзошла опытную по данному показателю на 3,76 г, или 4,67 % (рис. 1).

Таблица 1

Схема проведения научно-хозяйственного опыта

Группа	Количество голов	Условия кормления
Контрольная	♂ 22 ♀ 22	Основной рацион (ОР) – комбикорм с питательностью, соответствующей рекомендациям для кросса
Опытная	♂ 22 ♀ 22	ОР + кормовая добавка в количестве 0,15 г/кг комбикорма с 5-го дня выращивания и до конца периода откорма

Table 1

Scheme of scientific and economic experience

Group	Number of heads	Feeding conditions
Control	♂ 22 ♀ 22	The main diet is compound feed with a nutritional value corresponding to the recommendations for the cross
Experienced	♂ 22 ♀ 22	The main die + feed additive in the amount of 0.15 g/kg of compound feed, from the 5th day of cultivation until the end of the fattening period

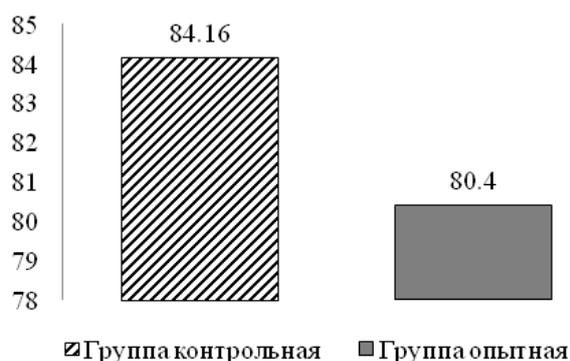


Рис. 1. Масса кишечника цыплят-бройлеров в 29 дней, г

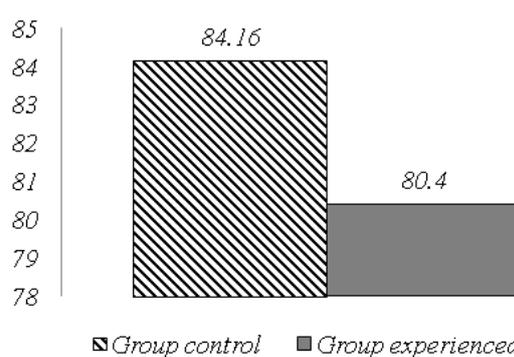


Fig. 1. Intestinal mass of broiler chickens at 29 days, g

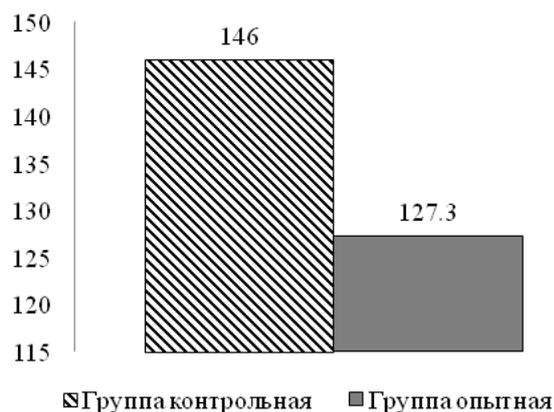


Рис. 2. Масса кишечника цыплят-бройлеров в 37 дней, г

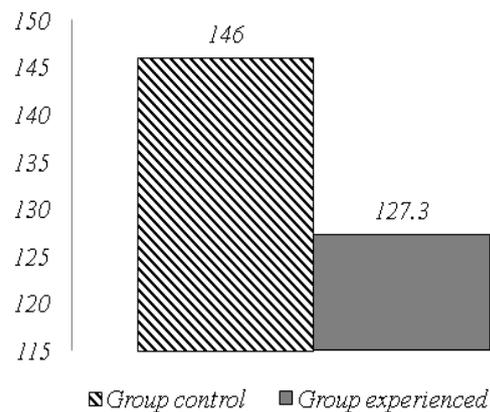


Fig. 2. Intestinal mass of broiler chickens at 37 days, g

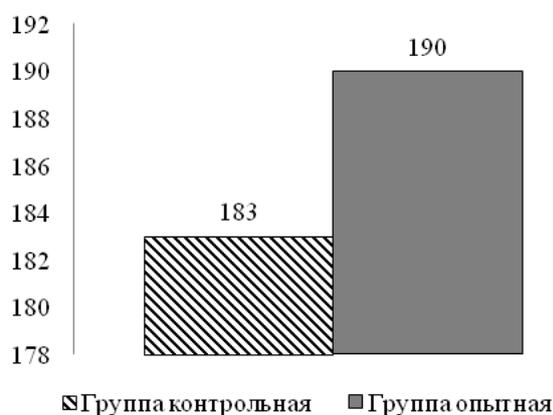


Рис. 3. Длина кишечника цыплят-бройлеров в 29 дней, г

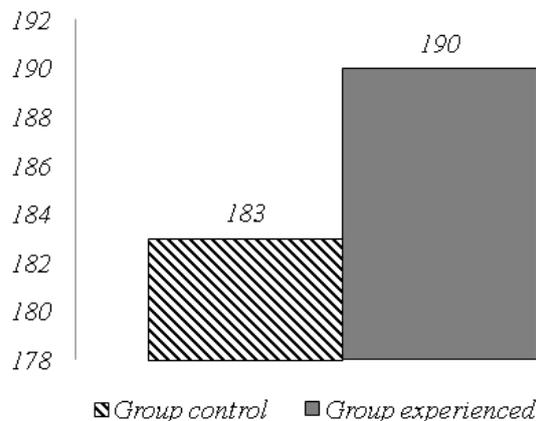


Fig. 3. The length of the intestines of broiler chickens in 29 days, g

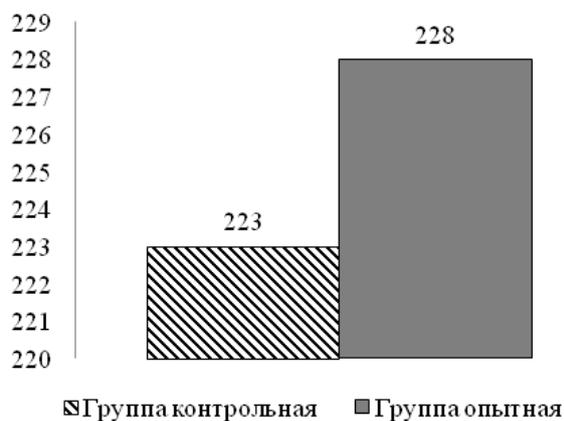


Рис. 4. Длина кишечника цыплят-бройлеров в 37 дней, г

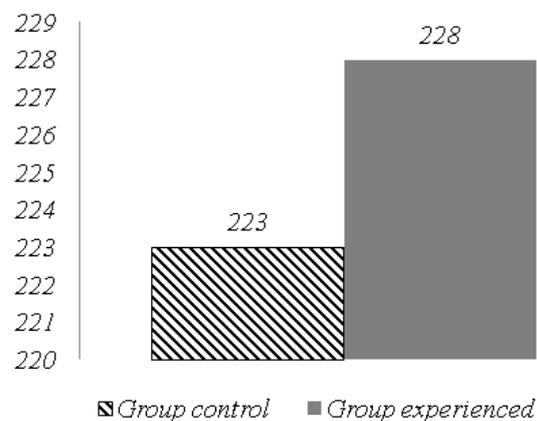


Fig. 4. The length of the intestines of broiler chickens in 37 days, g

В 37 дней масса кишечника цыплят-бройлеров опытной группы составила 146 г, тогда как в опытной исследуемый показатель был ниже контрольного на 18,7 г, или 14,68 % (рис. 2).

Помимо массы, оценивали также длину данного органа птицы в аналогичные возрастные периоды (рис. 3, 4).

В возрасте 29 дней более длинный кишечник был у цыплят опытной группы, составив 190 см, превышая контрольное значение на 7 см, или 3,8 % (рис. 3).

В возрасте 37 дней кишечник птицы, получавшей фитобиотик, был длиннее аналогичного контрольной группы на 5 см, или 2,2 % (рис. 4).

Таким образом, при меньшей массе кишечника птицы опытной группы опережал по длине кишечник контрольных бройлеров, свидетельствуя о более интенсивном развитии данного отдела желудочно-кишечного тракта опытной птицы под действием исследуемого фитопрепарата, что, в свою очередь, является предпосылкой для увеличения площади всасывания питательных веществ в кишечнике бройлеров.

Как известно, в жизни цыплят большое значение имеет начальный период, то есть первые сутки после выведения. Этот период даже считается критическим. Именно в течение первых 5 суток цыплята переживают метаболические и физиологические изменения в организме, поскольку это время обусловлено переходом питания с желтка (при эмбриональном развитии) на сухой корм. Весь этот переход параллельно сопровождается интенсивным развитием кишечника. Кишечник должен активно развиваться, для того чтобы обеспечить эффективное использование питательных веществ от получаемого комбикорма.

В случае когда кишечная микрофлора формируется слишком медленно, жизнь цыплят становится зависимой от окружающих факторов, таких как качественные показатели воды и корма, а также от условий содержания.

Различные исследования доказали, что нормальная микрофлора организма функционально участвует в различных системах организма, таких как эндокринная, сердечно-сосудистая, нервная и т. д. Более того, микрофлора организма принимает участие в формировании иммунитета, органических веществ, например белков, гормонов, витаминов и других соединений, в том числе антибиотических. Также она действует как предохранитель организма от проникновения и воздействия патогенных микроорганизмов. Все эти факты говорят о том, что микрофлора оказывает существенное влияние на усвоение питательных веществ, так как она непосредственно воздействует на переваримость корма и интенсивность развития пищеварительной системы птицы.

Многие ученые в настоящее время сходятся во мнении, что именно кишечнику отводится роль первого защитника организма от патогенов, проникающих из внешней среды. Помимо этого, считается, что именно кишечник является самым большим органом, который участвует в иммунном процессе организма.

В состав микрофлоры кишечника птицы может входить более 400 видов разных микроорганизмов. К основным представителям относятся бифидо-, лактобактерии и бактериоиды. На их долю в общей структуре приходится около 90 %.

Эволюционно микрофлора кишечника у многоклеточных организмов разделилась на две основные группы: постоянные и непостоянные. Постоянная, или автохтонная, представлена группой микроорганизмов, которые всегда присутствуют в кишечнике. Другая группа называется транзитной, или аллохтонной, ее представителями являются условно-патогенные и патогенные микроорганизмы. На количественное содержание аллохтонной группы микроорганизмов в кишечнике птицы оказывают значительное влияние качество и вид корма и воды. В здоровом организме нормофлора всегда превы-

шает численность транзитной группы микроорганизмов. Однако этот баланс может быть легко нарушен.

У нормофлоры кишечника имеется ряд функций, главной из которых можно назвать колонизационную резистентность. Именно она определяет степень защитных свойств организма. Как только на организм начинают воздействовать различные негативные факторы, может нарушиться стабильность флоры, что в итоге приведет к возникновению дисбиозов.

Формы, которые выделяются во время дисбактериоза, обладают рядом особенностей, например, они характеризуются множественной лекарственной устойчивостью. Также они негативно сказываются на численности бифидо- и лактобактерий, которые, в свою очередь, выполняют важнейшие функции в кишечнике. Во-первых, они выполняют защитную функцию слизистой кишечника, препятствуя проникновению патогенов в кровеносную систему. Во-вторых, участвуют в синтезе антибиотикоподобных веществ и витаминов группы В. В-третьих, оказывают стимулирующее влияние на защитные свойства организмов.

В ходе анализа состояния микрофлоры толстого отдела кишечника (слепых отростков) цыплят-бройлеров установлено отсутствие и в контрольной, и в опытной группе патогенных микроорганизмов (шигеллы, сальмонеллы, кампилобактеры, диарогенные эшерихии, иерсинии, *vacillus cereus*, аэромонас, плезиомонас).

Из потенциально патогенной флоры не были обнаружены в содержимом слепых отростков подопытных цыплят энтеробактерии клебсиелла, энтеробактер, серрация, неферментирующие грамотрицательные палочки – синегнойная палочка, ацинетобактер, грамположительные кокки – золотистый стафилококк, грибковая флора *Candida sp.* При этом в обеих группах имели место быть *Staphylococcus Saprophyticus* и *Trichosporon asahii*, с количественным преобладанием в контрольной группе – на 40 %.

Включение фитобиотика в рацион цыплят не оказало воздействия на нормофлору слепых отростков: количественное содержание лактобактерий, бифидобактерий и кишечной палочки (нормофлор) в этом отделе кишечника у птицы обеих групп находилось в пределах установленных норм и не имело существенной разницы.

Для получения более полной картины состояния и развития кишечника у птиц контрольной и опытной групп было проведено морфогистологическое исследование двенадцатиперстной и слепой кишки (слепых отростков).

В двенадцатиперстной кишке особой контрольной группы наблюдались воспалительная реакция ворсинок (рис. 5), гиперсекреция крипт и гиперемия сосудов мышечной оболочки (рис. 6, 7).

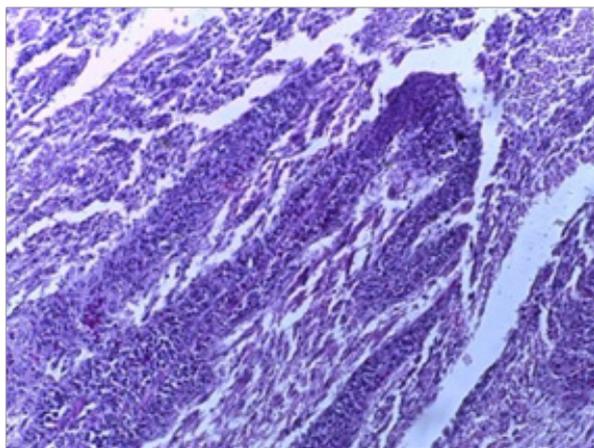


Рис. 5. Срез двенадцатиперстной кишки цыплят контрольной группы. Ув. 200
Fig. 5. Section of the duodenum of chickens of the control group. Zoom 200

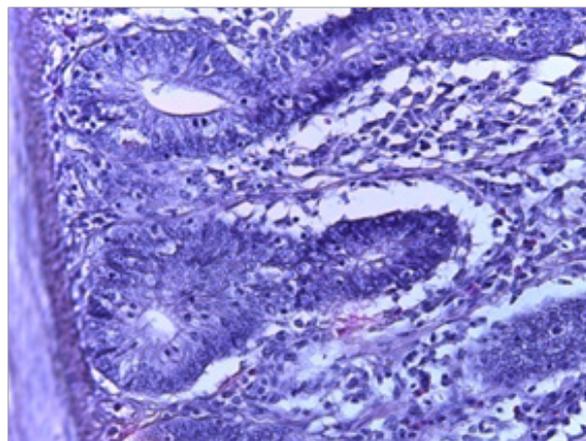


Рис. 6. Срез двенадцатиперстной кишки цыплят контрольной группы. Ув. 400
Fig. 6. Section of the duodenum of chickens of the control group. Zoom 400

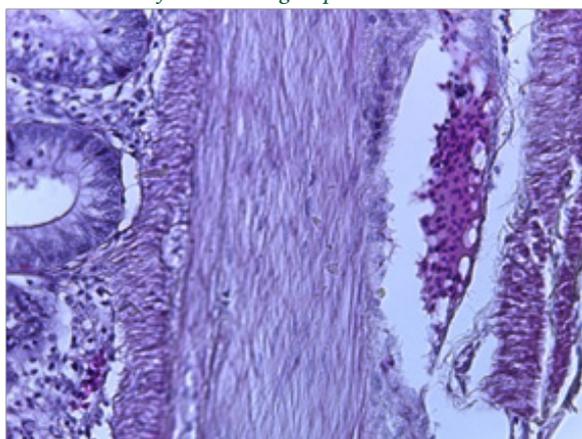


Рис. 7. Срез двенадцатиперстной кишки цыплят контрольной группы. Ув. 400
Fig. 7. Section of the duodenum of chickens of the control group. Zoom 400

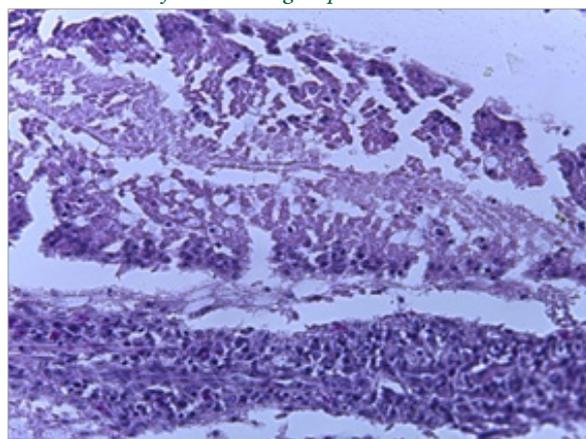


Рис. 8. Срез двенадцатиперстной кишки цыплят опытной группы. Ув. 400
Fig. 8. Section of the duodenum of chickens of the experimental group. Zoom 400

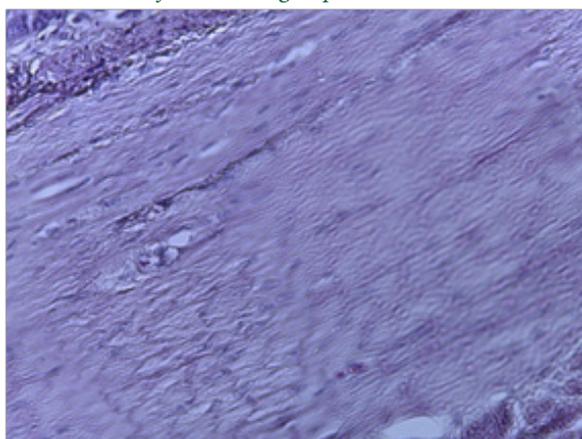


Рис. 9. Срез двенадцатиперстной кишки цыплят опытной группы. Ув. 400
Fig. 9. Section of the duodenum of chickens of the experimental group. Zoom 400

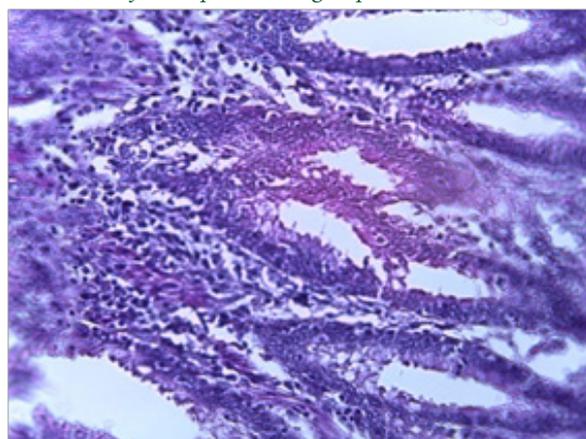


Рис. 10. Срез двенадцатиперстной кишки цыплят опытной группы. Ув. 400
Fig. 10. Section of the duodenum of chickens of the experimental group. Zoom 400

На рис. 8, 9, 10 представлены срезы двенадцатиперстной кишки тонкого отдела кишечника цыплят-бройлеров опытной группы, которые потребляли фитобиотический препарат.

Представленные образцы указывают на наличие на поверхности эпителия двенадцатиперстной кишки у цыплят-бройлеров опытной группы в просвете и между ворсинками накоплений катарального экссудата. Также было отмечено утолщение мышечной оболочки и кровоизлияния (рис. 8, 9, 10).

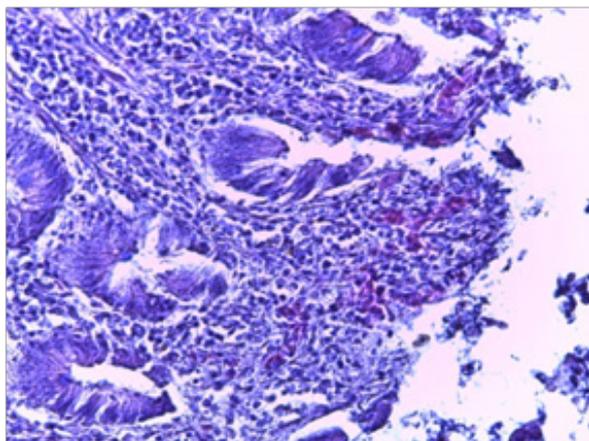


Рис. 11. Срез слепой кишки цыплят контрольной группы. Ув. 400

Fig. 11. Section of the cecum of chickens of the control group. Zoom 400

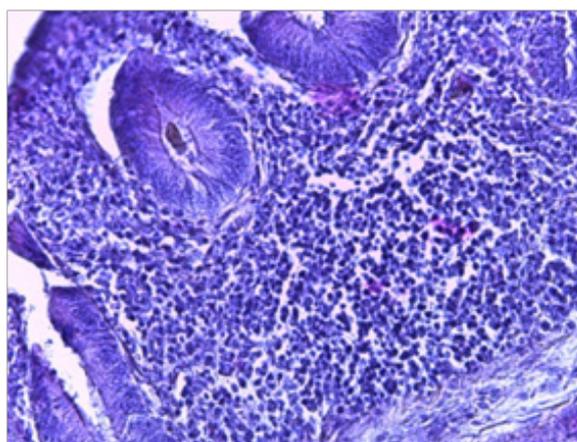


Рис. 12. Срез слепой кишки цыплят контрольной группы. Ув. 400

Fig. 12. Section of the cecum of chickens of the control group. Zoom 400

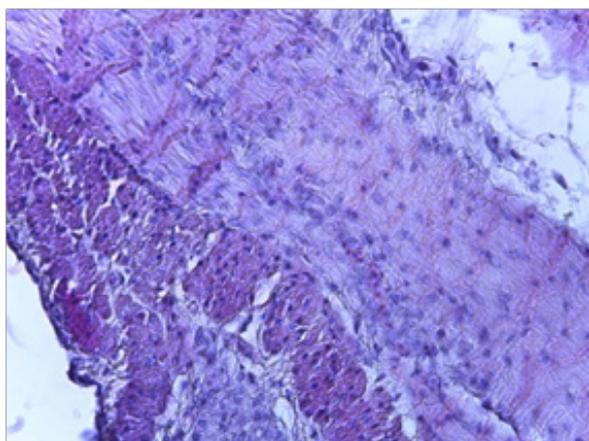


Рис. 13. Срез слепой кишки цыплят контрольной группы. Ув. 400

Fig. 13. Section of the cecum of chickens of the control group. Zoom 400

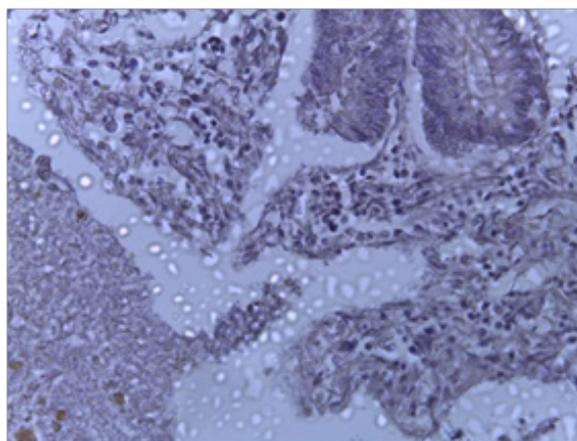


Рис. 14. Срез слепой кишки цыплят опытной группы. Ув. 200

Fig. 14. Section of the cecum of chickens of the experimental group. Zoom 200

Далее оценивалось морфогистологическое состояние слепой кишки подопытной птицы. Результаты биоматериала цыплят контрольной группы представлены на рис. 11, 12, 13.

Слизистая оболочка слепых отростков толстого отдела кишечника у цыплят-бройлеров из контрольной группы характеризовалась наличием воспалительных инфильтратов (рис. 11).

Во всех анализируемых образцах контрольной группы фиксировали активную воспалительную инфильтрацию (рис. 12). Также стоит отметить, что серозная оболочка слепой кишки была утолщена (рис. 13).

Морфогистологический анализ среза слепой кишки цыплят-бройлеров опытной группы свидетельствовал об умеренно протекающей воспалительной реакции в органе и наличии активизированных лимфоидных фолликулов (рис. 14).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Фитобиотические кормовые добавки активно исследуются по всему миру. В настоящее время они

относятся к наиболее перспективным инструментам, которые можно использовать для безопасной борьбы с патогенной микрофлорой кишечника цыплят-бройлеров в промышленных условиях.

Отечественные и зарубежные ученые активно изучают эффективность применения фитобиотиков в вопросе оптимизации микробиоты кишечника цыплят-бройлеров.

Так, в исследованиях Х. Ивински и его соавторов было доказано, что смесь фитобиотиков может использоваться в качестве очень сильного природного антибактериального средства в борьбе против грамотрицательных патогенов пищевого происхождения [18].

Р. Ислам и И. Ю. Шейх в своих исследованиях утверждают, что фитобиотики обладают выраженным антимикробным, антикокцидийным, противогрибковым, антиоксидантным, иммуностимулирующим, нутригеномным воздействиями, связанными с липофильным характером. Проникая в клеточную мембрану возбудителей, фитобиотические

компоненты приводят к ее разрушению и утечке ионов. Установлено, что данные препараты проявляют широкую антибактериальную активность против вредных бактерий, таких как кишечная палочка, сальмонелла и клостридии [19].

Проведенные нами исследования показали, что включение испытуемого фитобиотического препарата в рацион цыплят-бройлеров способствовало увеличению длины кишечника птицы опытной группы, свидетельствуя о возрастании всасывательной поверхности для питательных веществ в организме. Анализом состояния микрофлоры толстого отдела кишечника бройлеров определено, что исследуемая кормовая добавка не оказывает негативного воздействия на представителей нормофлоры кишечника, при этом существенно снижает количество потенциально патогенных представи-

телей микробиоты – *Staphylococcus Saprophyticus* и *Trichosporon asahii*. Морфогистологические исследования демонстрировали иммуномодулирующие свойства фитобиотика, что выражалось в умеренно протекающих процессах воспаления в слепых отростках у опытных цыплят к концу технологического цикла (37 дней) и в наличии активизированных лимфоидных фолликулов на фоне выраженной воспалительной инфильтрации этого органа в контрольных образцах. Таким образом, можно сделать заключение о благоприятном воздействии изучаемого препарата на структуру и функции кишечника цыплят-бройлеров, что, в свою очередь, является биологической предпосылкой позитивного его влияния на переваримость и использование питательных веществ комбикорма, а, следовательно, и на основные показатели продуктивности птицы.

Библиографический список

1. Орлова Т. Н. Влияние пробиотика на микробиоценоз кишечника цыплят-бройлеров // Евразийский союз ученых. 2020. № 10-2 (79). С. 68–70. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.79.1039.
2. Меднова В. В., Ляшук А. Р., Буяров В. С. Использование фитобиотиков в животноводстве (обзор) // Биология в сельском хозяйстве. 2021. № 1 (30). С. 11–16.
3. Овчарова А. Н., Петраков Е. С. Физиологические показатели и продуктивность цыплят-бройлеров при использовании пробиотического препарата на основе бацилл // Проблемы биологии продуктивных животных. 2018. № 1. С. 94–101.
4. Овчинников А. А., Овчинникова Л. Ю., Коновалов Д. А. Иммунный статус организма мясных кур при использовании пробиотиков в рационе // Птицеводство. 2019. № 5. С. 43–47.
5. Беляева С. Н., Концевая С. Ю., Коваленко А. М. Повышение неспецифических факторов иммунитета птиц // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2019. № 1. С. 143–145.
6. Гудин В. А., Лысов В. Ф., Максимов В. И. Физиология и этология сельскохозяйственных птиц. Санкт-Петербург, 2022. 336 с.
7. Олива Т. В. Интеракция длины кишечника с живой массой цыплят-бройлеров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 8. С. 54–55.
8. Капитонова Е. А. Динамика микробиоты кишечника цыплят-бройлеров при влиянии новых органо-минеральных адсорбентов // Иппология и ветеринария. 2021. № 4 (42). С. 67–74.
9. Никонов И. Н., Манукян В. А. Использование комбикормов различного состава и их влияние на микробиоту кишечника бройлеров // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2019. № 7. С. 53–61.
10. Пилюгин Д. Н. Здоровье кишечника – важный показатель состояния здоровья бройлеров // Птицеводство. 2019. № 5. С. 51–54. DOI: 10.33845/0033-3239-2019-68-5-51-54.
11. Казьмина А. Н., Просекова Е. А. Влияние препарата с экстрактом сладкого каштана на развитие тонкого кишечника бройлеров // Актуальные проблемы и приоритетные направления современной ветеринарной медицины, животноводства и экологии в исследованиях молодых ученых: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Рязань, 2021. С. 84–88.
12. Гиббс К. Первые три недели – критический период для развития кишечника бройлера // Комбикорма. 2018. № 11. С. 59–60.
13. Зяблицева М. А., Белооков А. А. Микробиологические препараты, формирующие микрофлору кишечника цыплят-бройлеров // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2020. № 10. С. 58–61.
14. Молоканова О. В., Дорофеева С. Г., Седов С. А., Аносов Д. Е. Комплекс эфирных масел и органических кислот на защите кишечника цыплят-бройлеров от бактерий // Ветеринария. 2021. № 12. С. 18–20. DOI: 10.30896/0042-4846.2021.24.12.18-20.
15. Никитина Н. В. Морфофункциональное развитие Толстого отдела кишечника цыплят бройлеров в раннем постэмбриональном онтогенезе // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Пенза, 2020. С. 151–154.

16. Мотин М. С., Мясникова О. В. Изучение микробиоты кишечника цыплят-бройлеров действием суспензии хлореллы // Неделя студенческой науки: материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. Москва, 2022. С. 132–134.

17. Зяблищева М. А., Белооков А. А. Применение микробиологических препаратов с целью формирования микрофлоры кишечника цыплят-бройлеров // Современные направления развития науки в животноводстве и ветеринарной медицине: материалы международной научно-практической конференции посвященной 60-летию кафедры технологии производства и переработки продуктов животноводства и 55-летию кафедры иностранных языков. Тюмень, 2019. С. 26–29.

18. Iwinski H., Wódz K., Chodkowska K., Nowak T., Rózanski H. In Vitro Evaluation of Antimicrobial Effect of Phytobiotics Mixture on Salmonella spp. Isolated from Chicken Broiler // Antibiotics. 2022. Vol. 11. No. 7. DOI: 10.3390/antibiotics11070868.

19. Islam R., Sheikh I. U. Phytobiotics in Poultry Production // In: Recent research in animal husbandry and veterinary sciences. 2021. Vol. 2. Pp. 13–36. Integrated Publications H. No. 3 Pocket H34, Sector 3, Rohini, Delhi-110085, India. DOI: 10.22271/int.book.71.

Об авторах:

Елена Викторовна Шацких¹, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой зооинженерии, ORCID 0000-0001-5086-6353, AuthorID 478964; +7 922 107-67-92, evshackih@yandex

Дарья Евгеньевна Королькова-Субботкина¹, аспирант, преподаватель кафедры зооинженерии, ORCID 0000-0001-5103-222, AuthorID 1110761; +7 950 638-32-55, korolkovadaria13@gmail.com

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Российская Федерация

The state of the intestines of broiler chickens when a phytobiotic supplement is included in the diet

E. V. Shatskikh¹✉, D. E. Korolkova-Subbotkina¹

¹Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: evshackih@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study was to assess the state of the intestinal tract in broiler chickens when a phytobiotic preparation is included in the diet. **Methods.** The studies were carried out as part of a scientific and economic experiment on broilers of the Ross-308 cross, formed into the control and experimental groups ($n = 44$). The experimental bird, in addition to the main diet, from the 5th day of life received a phytobiotic supplement in the amount of 0.15 g per 1 kg of feed. During the experiment, the following were evaluated: the mass and length of the intestines of chickens; the microflora of the blind processes according to the results of microbiological seeding on the necessary selective nutrient media; morphological and histological changes in the duodenum and caecum. **Results.** A tendency was revealed to increase the length of the intestine in broiler chickens of the experimental group: at the age of 29 days it was longer than that of chickens in the control group by 3.8 %, at 37 days – by 2.2 %. The inclusion of the phytobiotic in the diet of broilers did not affect the state of the normoflora of the caecum of birds, but had a significant effect on reducing the number of potentially pathogenic representatives of the microbiota – Staphylococcus Saprophyticus and Trichosporon asahii. Morphohistological studies demonstrated moderate inflammation processes in the blind processes in experimental chickens by the end of the technological cycle (37 days) and the presence of activated lymphoid follicles, against the background of a pronounced inflammatory infiltration of this organ in control samples. **The scientific novelty** lies in the fact that for the first time studies have been carried out to study the effect of a new phytobiotic preparation on the development of the intestinal tract of broiler chickens, on the composition of the microflora of the blind processes, the morphological and histological state of the duodenum and caecum. A conclusion was made about the favorable effect of the studied preparation on the structure and functions of the analyzed organs, which in turn is a biological prerequisite for its positive effect on the digestibility and use of feed nutrients, and, consequently, on the main indicators of poultry productivity.

Keywords: broiler chickens, phytobiotic, intestinal microflora, feed antibiotics, pathogenic microflora, biologically active additives.

For citation: Shatskikh E. V., Korolkova-Subbotkina D. E. Sostoyanie kishcheyki tsyplyat-broylerov pri vkluychenii v ratsion fitobioticheskoy dobavki [The state of the intestines of broiler chickens when a phytobiotic supplement is included in the diet] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue “Biology and biotechnologies”. Pp. 81–91. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-81-91. (In Russian.)

Date of paper submission: 28.11.2022, **date of review:** 08.12.2022, **date of acceptance:** 14.12.2022.

References

1. Orlova T. N. Vliyanie probiotika na mikrobiocenoze kishcheyki tsyplyat-broylerov [The effect of probiotics on the intestinal microbiocenosis of broiler chickens] // Eurasian Union of Scientists. 2020. No. 10-2 (79). Pp. 68–70. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.79.1039. (In Russian.)
2. Mednova V. V., Lyashuk A. R., Buyarov V. S. Ispol'zovanie fitobiotikov v zhivotnovodstve (obzor) [The use of phytobiotics in animal husbandry (review)] // Biology in Agricultural. 2021. No. 1 (30). Pp. 11–16. (In Russian.)
3. Ovcharova A. N., Petrakov E. S. Fiziologicheskie pokazateli i produktivnost' tsyplyat-broylerov pri ispol'zovanii probioticheskogo preparata na osnove batsill [Physiological indicators and productivity of broiler chickens when using a probiotic preparation based on bacilli] // Problems of Productive Animal Biology. 2018. No. 1. Pp. 94–101. (In Russian.)
4. Ovchinnikov A. A., Ovchinnikova L. Yu., Konovalov D. A. Immunnyy status organizma myasnykh kur pri ispol'zovanii probiotikov v ratsione [The immune status of the organism of meat chickens when using probiotics in the diet] // Ptitsevodstvo. 2019. No. 5. Pp. 43–47. (In Russian.)
5. Belyaeva S. N., Kontsevaya S. Yu., Kovalenko A. M. Povyshenie nespetsificheskikh faktorov immuniteta ptits [Increase of nonspecific factors of immunity of birds] // Legal regulation in veterinary medicine. 2019. No. 1. Pp. 143–145. (In Russian.)
6. Gudim V. A., Lysov V. F., Maksimov V. I. Fiziologiya i etologiya sel'skokhozyaystvennykh ptits [Physiology and ethology of farm birds]. Saint Petersburg, 2022. 336 p. (In Russian.)
7. Oliva T. V. Interaktsiya dliny kishcheyki s zhivoy massoy tsyplyat-broylerov [Interaction of intestinal length with live weight of broiler chickens] // Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2012. No. 8. Pp. 54–55. (In Russian.)
8. Kapitonova E. A. Dinamika mikrobioty kishcheyki tsyplyat-broylerov pri vliyani novykh organo-mineral'nykh adsorbentov [Dynamics of intestinal microbiota of broiler chickens under the influence of new organo-mineral adsorbents] // Hippology and veterinary. 2021. No. 4 (42). Pp. 67–74. (In Russian.)
9. Nikonov I. N., Manukyan V. A. Ispol'zovanie kombikormov razlichnogo sostava i ikh vliyanie na mikrobiotu kishcheyki broylerov [The use of compound feeds of various compositions and their effect on the intestinal microbiota of broilers] // Feeding of Agricultural Animals and Feed Production. 2019. No. 7. Pp. 53–61. (In Russian.)
10. Pilyugin D. N. Zdorov'ye kishcheyki – vazhnyy pokazatel' sostoyaniya zdorov'ya broylerov [Intestinal health is an important indicator of the state of health of broilers] // Ptitsevodstvo. 2019. No. 5. Pp. 51–54. DOI: 10.33845/0033-3239-2019-68-5-51-54. (In Russian.)
11. Kaz'mina A. N., Prosekova E. A. Vliyanie preparata s ekstraktom sladkogo kashtana na razvitie tonkogo kishcheyki broylerov [The effect of the drug with sweet chestnut extract on the development of the small intestine of broilers] // Aktual'nye problemy i prioritetye napravleniya sovremennoy veterinarnoy meditsiny, zhivotnovodstva i ekologii v issledovaniyakh molodykh uchenykh: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ryazan'. 2021. Pp. 84–88. (In Russian.)
12. Gibbs K. Pervye tri nedeli – kriticheskiy period dlya razvitiya kishcheyki broylera [The first three weeks are a critical period for the development of the broiler intestines] // Kombikorma. 2018. No. 11. Pp. 59–60. (In Russian.)
13. Zyablitsaeva M. A., Belookov A. A. Mikrobiologicheskie preparaty, formiruyushchie mikrofluoru kishcheyki tsyplyat-broylerov [Microbiological preparations forming the intestinal microflora of broiler chickens] // Veterinariya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh. 2020. No. 10. Pp. 58–61. (In Russian.)
14. Molokanova O. V., Dorofeeva S. G., Sedov S. A., Anosov D. E. Kompleks efirnykh masel i organicheskikh kislot na zashchite kishcheyki tsyplyat-broylerov ot bakteriy [A complex of essential oils and organic acids to protect the intestines of broiler chickens from bacteria] // Veterinary. 2021. No. 12. Pp. 18–20. DOI: 10.30896/0042-4846.2021.24.12.18-20. (In Russian.)
15. Nikitina N. V. Morfofunktsional'noe razvitie Tolstogo otdela kishcheyki tsyplyat broylerov v rannem postembrional'nom ontogeneze [Morphofunctional development of the large intestine of broiler chickens in early postembryonic ontogenesis] // Vklad molodykh uchenykh v innovatsionnoe razvitie APK Rossii: sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. Penza, 2020. Pp. 151–154. (In Russian.)
16. Motin M. S., Myasnikova O. V. Izuchenie mikrobioty kishcheyki tsyplyat-broylerov deystviem suspenzii khlorelly [Study of intestinal microbiota of broiler chickens by the action of chlorella suspension] // Nedelya stu-

dencheskoy nauki: materialy Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moscow, 2022. Pp. 132–134. (In Russian.)

17. Zyablitseva M. A., Belookov A. A. Primenenie mikrobiologicheskikh preparatov s tsel'yu formirovaniya mikroflory kishhechnika tsplyat-broylerov [The use of microbiological preparations for the formation of intestinal microflora of broiler chickens] // *Sovremennye napravleniya razvitiya nauki v zhivotnovodstve i veterinarnoy meditsine: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii posvyashchennoy 60-letiyu kafedry tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktov zhivotnovodstva i 55-letiyu kafedry inostrannykh yazykov*. Tyumen'. 2019. Pp. 26–29. (In Russian.)

18. Iwinski H., Wódz K., Chodkowska K., Nowak T., Rózanski H. In Vitro Evaluation of Antimicrobial Effect of Phytobiotics Mixture on *Salmonella* spp. Isolated from Chicken Broiler // *Antibiotics*. 2022. Vol. 11. No. 7. DOI: 10.3390/antibiotics11070868.

19. Islam R., Sheikh I. U. Phytobiotics in Poultry Production // In: *Recent research in animal husbandry and veterinary sciences*. 2021. Vol. 2. Pp. 13–36. Integrated Publications H. No. 3 Pocket H34, Sector 3, Rohini, Delhi-110085, India. DOI: 10.22271/int.book.71.

Authors' information:

Elena V. Shatskikh¹, doctor of biological sciences, professor, head of the department of zooengineering, ORCID 0000-0001-5086-6353, AuthorID 478964; +7 922 107-67-92, evshackih@yandex

Darya E. Korolkova-Subbotkina¹, postgraduate, lecturer of the department of zooengineering, ORCID 0000-0001-5103-222, AuthorID 1110761; +7 950 638-32-55, korolkovadaria13@gmail.com

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

The effect of straw on the humus state of chernozem

Kh. S. Yumashev¹, I. A. Zakharova¹✉

¹Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy, Russia

✉E-mail: chniisx2@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to present the results of studies obtained in the long-term stationary experience of the Geographical Network of Experiments with Fertilizers of the Russian Federation on the effect of various methods of straw, crop residues and nitrogen fertilizers utilization on the humus state of leached black soil. Establish the effect of the systematic introduction of straw and crop residues on the content of total and labile humus in leached black soil, provide data on the fractional composition of humus. **Methods.** There were used conventional methods: total nitrogen by the method of indophenol greens, humus according to Tyurin in Simakov's modification; fractional group composition according to Ponomareva and Plotnikova; labile carbon – by the release of humic substances during treatment with 0.1n NaOH, soil treatment with sodium pyrophosphate 0.1m Na₄P₂O₇ (Dyakonova's method) and hot water (Schulz's method). **Results.** The results of studies obtained in a long-term stationary experiment on the study of the effect of straw and crop residues on the humus state of the soil are presented. It has been established that the annual introduction of straw and crop residues into the soil makes it possible to maintain the humus state of the leached black soil at the level of the initial content. Significant differences in the humus reserves in the arable soil layer according to the methods of utilization of organic residues were not revealed, they were assessed as very high. On a long fallow, humus reserves were high, on virgin lands they were ultra-high. The results of the studies showed that the fractional composition of fulvic acids depended on the method of using straw and stubble residues; the fractional composition of humic acids did not differ from the method of utilizing straw and stubble residues. A decrease in the content of total humus was revealed against the background of burning and removing straw and stubble, while an increase in its content was noted during the systematic plowing of post-harvest residues. **Scientific novelty** consists in changing the fractional-group composition of humus when using organic residues (straw, stubble) for the reproduction of soil organic matter.

Keywords: organic matter, humus, labile humus, nitrogen, fractional composition of humus, humic acids, fulvic acids, nitrogen fertilizers.

For citation: Yumashev Kh. S., Zakharova I. A. The effect of straw on the humus state of chernozem // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue "Biology and biotechnologies". Pp. 92–98. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-92-98.

Date of paper submission: 10.08.2022, **date of review:** 26.08.2022, **date of acceptance:** 09.09.2022.

Introduction

The earth as a natural body and the main means of agricultural production is a constantly changing system. All atmospheric processes, physical phenomena, flora, fauna affect the state of the earth, especially its upper layer. Reproduction of soil fertility is one of the most important tasks of agriculture. Under conditions of intensive use of arable land, especially in areas prone to erosion processes, the problem of restoring the loss of soil organic matter remains without the necessary attention, dehumification is noted, expressed in a noticeable decrease in natural humus reserves. The low ability of soils to form humus is explained by the insufficient supply of fresh organic matter to the soil. With low reserves of organic matter, especially during the growing season and under adverse weather conditions, plants are prone to depression. According to many re-

searchers, the annual loss of organic matter in Russia reaches 0.3–0.4 t/ha, significantly increasing in areas with the manifestation of erosion processes [1–3]. The decrease in the number of livestock in the farms of the region, the increase in prices for fuel and lubricants have sharply reduced the volume of organic fertilizers applied to the soil. In this situation, it was important to find alternative ways to replenish the reserves of organic matter in soils on arable land. At the same time, straw, tops and other production wastes become the cheapest and most accessible source of organic carbon replenishment. However, information about the role of straw used as organic fertilizer is highly conflicting. This is explained mainly by the difference in soil-climatic and technogenic conditions in experiments carried out by various scientific institutions.

Humic substances are the dominant factor in the state of natural soil fertility. The agrophysical and agrochemical properties of the soil, the state of its biological activity depend on the content of humus and its qualitative characteristics. In well-humused soils, the processes of mobilization of plant nutrients proceed better, such soils are less prone to overconsolidation, and are better aerated. The natural-historical process caused differences in the reserves and qualitative composition of the humus in the soil cover of the earth. In agricultural soil science, humus is considered as an integrated indicator of the economic value of the soil. The chemical composition, physical condition, biological activity, energy potential and other properties of the soil depend on the content of humus in it, the ratio of its various components – humic and fulvic acids, humates, etc. [3–9].

In the natural environment, the stationary equilibrium state of humic substances is maintained by the phytocenosis characteristic of this soil-climatic zone. Quantitative and qualitative changes, together with erosion and deflation, contribute to the imbalance of organic matter, the activation of destruction processes, and, ultimately, the decrease in the humus reserves inherent in this soil. Under the conditions of extensive farming on fields not fertilized with manure and composts, the most radical and, at the same time, affordable and low-cost means of enriching the soil with organic matter is straw cutting, introduced into the soil when harvesting grain crops.

Methods

The experiment was carried out on permanent sowing of spring wheat. The arrangement of options is randomized, the backgrounds are sequential. The experience is laid by the method of split plots: the plots of the first order are the backgrounds for the use of straw, the second – the doses of nitrogen fertilizers. Harvesting in the experiment was carried out by direct combining, while leaving chopped straw on the field surface. In parallel with this, the removal and burning of the entire non-grain part of the crop is carried out.

Background 1 is a traditional, accepted practice, when the straw is removed from the field.

On background 2, chopped straw is annually left, which is incorporated into the soil by repeated (2–3 tracks) disking with a heavy disc harrow.

On background 3, the entire non-grain part of the crop is removed by combing (multiple harrowing).

On background 4, the straw is evenly spread out over the experimental plots by hand and burned, after which disking is carried out in order to prevent the spread of ash and ashes by the wind.

On backgrounds 2 and 4, the same amount of straw is left.

Subsequently, moldboard plowing of all backgrounds to a depth of 23–25 cm is carried out across the plots.

The amount of straw introduced into the soil is determined by meter platforms and weighed on scales with an accuracy of 0.1 kg.

Mineral fertilizers are spread into the soil for pre-sowing cultivation.

Repetition 4-fold. The total number of plots in the experiment was 64. The area of the elementary plot of the first order was 800 m², the area of the second order was 200 m² (50 × 4), and the accounting plot was 190 m² (50 × 3.8).

In studies of soil organic matter, generally accepted methods are used: total nitrogen – by the indophenol green method; humus – according to Tyurin in Simakov's modification, fractional-group composition of humus – according to Ponomareva and Plotnikova. To extract labile carbon, the following methods were used: isolation of humic substances during treatment with 0.1 N NaOH, soil treatment with sodium pyrophosphate 0.1 M Na₄P₂O₇ (Dyakonova's method) and hot water (Schulz's method).

Results

As a result of long-term studies, a decrease in the content of total humus was revealed compared to the control (5.72 %) against the background of burning and removing straw and stubble to 5.45 and 5.51 %, respectively. While with the systematic plowing of post-harvest residues, the humus content increased to 6.03. For comparison, the results of observations of the humus state of the soil in a state of long-term fallowing and on a virgin analogue of the studied type are given. With prolonged fallowing, the content of total humus decreased to 4.22 %; on the virgin analogue of leached black soil, the content of total humus was 10.2 %. Against the background of nitrogen fertilizer, in the variants with the studied methods of straw utilization, the humus content was higher, which is due to the large amount of fresh organic matter entering the soil in the form of crop and root residues (Table 1). The same results were obtained in studies by other scientists, including German ones [14–16].

The main source of nitrogen in the soil is humus. Humus nitrogen passes into soluble and accessible forms as a result of a number of complex and lengthy microbiological transformations. Soil nitrogen, presented in the form of complex organic substances of humus, becomes available to plants only after its mineralization. The intensity of mineralization of humus nitrogen depends on the physical and chemical properties of the soil, climatic and agrotechnical conditions. When studying the humus state of the soil in long-term experiments, it is advisable to determine the enrichment of humus with nitrogen and the content of labile, easily transformable humus in it, which is very important for assessing the nearest reserve of nitrogen necessary for the growth and development of plants [3; 7; 8].

Influence of straw utilization methods on the humus state of the soil (average for 1971–2020)

Table 1

Option	Nitrogen dose, kg/ha	Humus content, %	Humus reserves (0–30 cm), t/ha	Enrichment of humus with nitrogen, C:N	Labile humus, %
The straw is removed, the stubble is plowed	0	5.72 <i>Below the average</i>	238.5 <i>Very high</i>	10.0 <i>Average</i>	0.40
	80	5.79 <i>Below the average</i>	241.4 <i>Very high</i>	10.5 <i>Average</i>	0.46
Systematic plowing straw and stubble	0	6.03 <i>Below the average</i>	251.4 <i>Very high</i>	11.4 <i>Low</i>	0.44
	80	5.93 <i>Below the average</i>	247.3 <i>Very high</i>	10.8 <i>Average</i>	0.45
Straw and stubble removal	0	5.45 <i>Below the average</i>	227.3 <i>Very high</i>	9.0 <i>Average</i>	0.42
	80	5.58 <i>Below the average</i>	232.7 <i>Very high</i>	10.0 <i>low</i>	0.41
Systematic burning of straw and stubble	0	5.51 <i>Below the average</i>	229.8 <i>Very high</i>	9.6 <i>Average</i>	0.36
	80	5.74 <i>Below the average</i>	239.4 <i>Very high</i>	11.8 <i>low</i>	0.36
Long steam	–	4.22 <i>Below the average</i>	175.6 <i>High</i>	11.3 <i>Low</i>	0.39
Virgin soil	–	10.2 <i>High</i>	425.3 <i>Ultra-high</i>	12.2 <i>Low</i>	1.01

Studies have shown that the humus content in all studied variants of a long-term stationary experiment was assessed as below average, only on the virgin soil analog, the humus content was high. The reserves of humus in the arable layer of the soil did not differ significantly according to the methods of utilization of organic residues and were assessed as very high, while they were high on a long-term fallow, and ultra-high on virgin lands.

The enrichment of humus with nitrogen characterizes the nitrogen regime of the soil, which is formed after the mineralization of organic matter.

The data in Table 1 show that when a large amount of organic matter enters the soil, humus with a low nitrogen enrichment is formed, while humus with an average degree of enrichment is formed in the variants with straw removal.

The low enrichment of humus with nitrogen in the variants with long-term fallow and virgin soil is explained by the limited supply of organic matter. In the virgin lands, despite the richness in nitrogen, in the balance of nitrate nitrogen available to plants, according to A. E. Vozbutskaya, there is a predominance of the expenditure part (consumption by plants, restoration) over the incoming part (nitrification).

One of the important points in the study of the qualitative characteristics of humus is the determination of mobile, labile forms, water-soluble components of the composition of humus as the most sensitive to natural and agrogenic influences [5; 12; 15].

The results of the determination of easily transformed organic matter, presented in Table 1, show the undoubted advantage of the variant with the system-

atic plowing of straw and stubble; the content of labile carbon, determined in the pyrophosphate extract, was the highest here and amounted to 0.44 %, while in the control variant it was only 0.40. The least labile carbon is in the variant with systematic burning of the entire non-grain part of the crop and perpetual fallow (0.36–0.39 %, respectively).

In the study of soil organic matter, according to the methods proposed by the Geoset laboratory, we carried out laboratory studies on the extraction of labile (transformable) humus from the soil with various reagents in order to unify the methods for determining labile humus.

The highest total carbon content was noted on the virgin analogue of leached chernozem, it amounted to 5.55 %; the smallest – with the annual removal and burning of straw and stubble without the introduction of nitrogen (2.93 and 3.11 %, respectively); when applying nitrogen fertilizer, it increased to 3.02 and 3.14 %, which was caused by the influx of more root residues in these options. Against the background of the annual plowing of straw and stubble, the content of total carbon without nitrogen was 3.38 %.

Studies have shown a different degree of extraction of labile organic matter during extraction with various preparations. So, when extracting 0.1 N NaOH on virgin soil, up to 24.0 % of carbon was extracted, in other options in this extract, from 16.1 to 20.1 % of the total soil carbon was extracted.

When extracting labile organic matter with a pyrophosphate extract (0.1 m Na₄P₂O₇) without applying nitrogen fertilizer against the background of straw and stubble plowing, the content of labile carbon was

14.8 % of the total; against the background of straw and stubble burning only 13.2%. Also, little soluble organic matter was extracted from virgin soil, which is due to the greater stability of organic matter in virgin soil.

Easily decomposable organic matter was extracted least of all with hot water according to the method of E. Schulz [20], the content of easily decomposable organic matter did not exceed 2–3 % of the total soil carbon (Table 2).

The dynamics of changes in the humus content in the leached black soil over the entire period of research, presented in Figure 1, shows that the systematic plowing of straw and crop residues makes it possible to stabilize the humus content at the level of the initial content. The remaining options, in particular the removal and burning of straw and crop residues, leading to a gradual decrease in humus reserves, the control option also shows the processes of humus degradation, manifested in a decrease in its content.

Humus is not only involved in the supply of plants with nitrogen, phosphorus, potassium and other im-

portant macro- and microelements of nutrition, its role is also undeniable in other important processes of soil formation and ensuring soil fertility, such as protecting soils from weathering, creating their granular structure, supplying plants carbon dioxide necessary for photosynthesis, biologically active growth substances. Therefore, the preservation and enhancement of humus reserves is one of the priorities of farmers.

The quality of humus is characterized by the content and ratio of humic and fulvic acids in it, their individual groups, which differ in solubility in weak acids and alkalis. Fractionation makes it possible to assess the trends in the development of humus formation under the influence of such a powerful agrogenic factor as the long-term systematic introduction of straw, crop residues and nitrogen fertilizers into the soil. With the same content of humus in the soil, there can be significant differences in the ratios of $S_{gc}:S_{phc}$ and C:N, the content of different Cc and Cfc groups in relation to the content of total organic carbon in the soil [3; 5; 10].

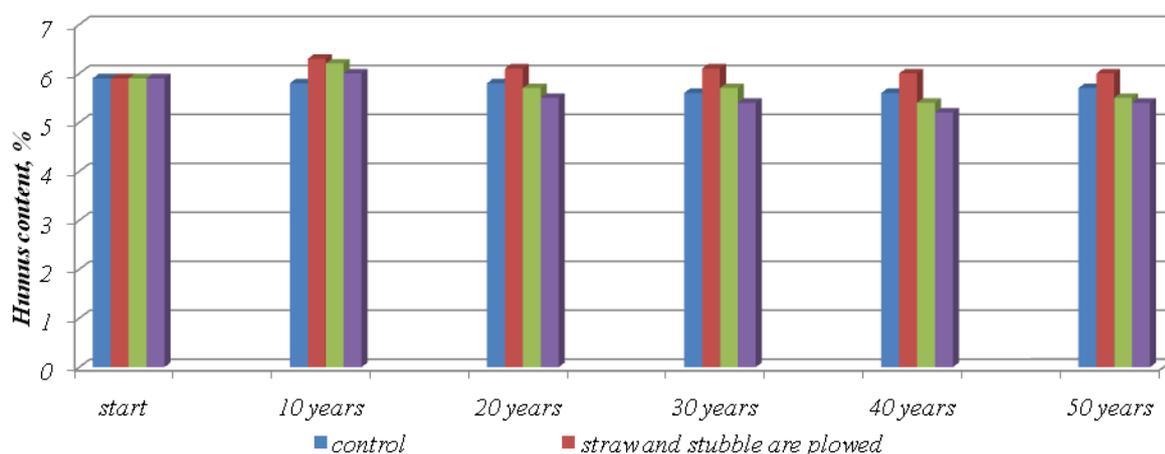


Fig. 1. Dynamics of changes in the content of humus in leached chernozem depending on the method of utilization of straw and crop residues (for 1971–2020)

Table 2
The content of organic carbon during extraction with various reagents depending on the amount of fresh organic matter entering the soil, %

Option	C total according to Tyurin	Extraction						
		Hot water (according to Schultz)		0.1 m $Na_4P_2O_7$		0.1 N NaOH		
		C	% of general	C	% of general	C	% of general	
Virgin soil	5.55	0.17	3.1	0.77	13.9	1.32	23.8	
The straw is removed, the stubble is plowed	N_0	3.25	0.07	2.1	0.49	15.1	0.59	18.2
	N_{120}	3.18	0.06	1.9	0.52	16.3	0.60	18.9
Systematic plowing straw and stubble	N_0	3.38	0.07	2.1	0.50	14.8	0.59	17.4
	N_{120}	3.39	0.07	2.1	0.52	15.3	0.67	19.8
Straw and stubble removal	N_0	2.93	0.06	2.0	0.47	16.0	0.59	20.1
	N_{120}	3.02	0.06	2.0	0.51	16.9	0.60	19.9
Systematic burning of straw and stubble	N_0	3.11	0.06	1.9	0.41	13.2	0.50	16.1
	N_{120}	3.14	0.05	1.6	0.38	12.1	0.51	16.2

Table 3
Fractional composition of humic acids in leached chernozem (0–30 cm) with various methods of utilization of organic residues and nitrogen fertilizer, (C, % to total soil C) (2000)

Background	Nitrogen dose, k/ha of a. i.	C _{average} in soil, %	GK fraction				FC fraction					G _A ⁺ / F _A	G _A / F _A	E _{mg/ml}	Humification indicator
			1	2	3	Sum	1a	1	2	3	Sum				
The straw is removed, the stubble is plowed	0	3.00	4.4	22.9	4.7	32.0	2.5	7.9	4.3	6.3	21.0	53.0	1.5	0.27	8.6
	120	3.14	2.9	22.8	2.0	27.7	1.9	10.2	2.8	8.9	23.8	51.5	1.2	0.26	7.2
Systematic plowing straw and stubble	0	3.57	2.7	21.1	3.2	27.0	1.9	10.2	0.8	9.5	22.4	49.4	1.2	0.27	7.3
	120	3.00	4.5	27.0	2.2	33.7	2.8	11.7	4.2	12.1	30.8	64.5	1.1	0.27	9.1
Straw and stubble removal	0	2.92	1.6	25.8	3.1	30.5	2.3	8.6	3.1	8.8	22.8	53.3	1.3	0.25	7.6
	120	3.07	2.6	21.5	2.6	26.7	2.0	9.8	2.6	9.7	24.1	50.8	1.1	0.25	6.7
Systematic burning of straw and stubble	0	3.06	2.5	22.9	2.5	27.9	2.0	9.1	0.5	10.3	21.9	49.8	1.3	0.24	6.7
	120	2.85	3.5	16.5	2.3	22.3	2.8	9.0	10.2	12.8	34.8	57.1	0.6	0.24	5.3

Black soils of the Chelyabinsk region are the most valuable and fertile in comparison with other types of soils. The formation of these soils is associated with the development of forb-grass vegetation, which has a significant effect on the processes of humification of organic matter (together with climatic conditions).

Determination of the fractional composition of humus is one of the important indicators of the humus status of soils. In the described stationary experiment, the fractional composition of humic substances, which characterizes the distribution of substances included in certain groups of soil humus according to the forms of their compounds with the mineral components of the soil, basically corresponds to the characteristics of black soils.

The composition of humic acids is dominated by humic acids of fraction 2, soluble in 0.1 N NaOH, associated mainly with calcium, they have the property of almost complete solubility in water. The remaining two fractions of humic acids account for approximately equal amounts. The total amount of humic acids without the use of fertilizers is 27–32 %, with the use of nitrogen fertilizers, the content of humic acids decreased. Differences due to the use of different technologies for the use of straw and crop residues have not been identified (Table 3).

Fulvic acids of various fractions are the most mobile and “young” forms of humic acids. Against the background of straw and stubble plowing, SFA accounts for 22.4–30.8 % of fulvic acid carbon in relation to the total soil carbon. Characteristically, against this background, there is a narrower ratio of humic acids to fulvic acids, respectively 1.2–1.1 versus 1.5–1.2 against the control background, where the straw is removed and the stubble is plowed (Table 3).

Against the background of the plowing of straw and stubble, the biological absorption of mineral nitrogen increased in the process of decomposition of cellulose and fiber, while the amount of humic acids decreased, the application of nitrogen fertilizer at a dose of 120 kg/ha a. i. contributed to an increase in the amount of humic acids.

As for the fractional composition of S_{gc} and S_{phc}, the differences in the content of groups of acids soluble in NaOH and H₂SO₄ of various concentrations should be considered insignificant, with the exception of fulvic acids in the extract of 0.1 N NaOH (No. 1) and 0.02 N NaOH (No. 3). Against the background of plowing into the soil of straw and stubble, its content in relation to the amount of S_{phc} was higher. These S_{gc} groups are associated with free and mobile sesquioxides, clay fraction and stable forms of soil sesquioxides. The ratio of carbon of humic acids to the total carbon of the soil reflects the degree of humification of organic matter, and the ratio S_{gc}:S_{phc} is the degree of maturity or hydrolyzability of humic acids. Against the background of straw and stubble and in the control, the type of humus is fulvate-humate (S_{gc}:S_{phc} less than 2.0). Some tendencies can be noted in differences in the degree of humification and in the ratio of humic acid carbon to total organic carbon; in the enrichment of humus with nitrogen (in the control variant, the C:N ratio was 10.0–10.5, while against the background of straw and stubble plowing it was 11.4–10.8) (Table 1). This phenomenon quite fully fits into the concept of the inevitable decrease in the content of nitrogen, primarily its mineral forms, in the process of biological decomposition of cellulose by cellulose-decomposing bacteria [13; 17; 18].

The smallest difference between the carbon of humic acids ($S_{gc} + S_{phc}$) and organic carbon (S_{org}) manifested itself against the background of straw and stubble plowing + N_{120} , which is also quite natural in view of a noticeable increase in the content of humic acid carbon in humus.

Discussion and Conclusions

The problem of replenishing the reserves of soil organic matter remains one of the priority areas. With the systematic introduction of straw and crop residues into the soil, the content of both total and labile (easily transformable) humus increases, while when straw and crop residues are removed and burned, the indicators characterizing the humus content of the soil decrease. The fractional composition of humus showed differ-

ences in the content of various fractions of total carbon, the fractional composition of humic acids did not differ from the method of utilization of straw and crop residues, the fractional composition of fulvic acids depended on the method of using straw and crop residues.

It is well known that not all soil organic matter directly affects plant productivity, but only its easily transformed part, which takes part in nutrient cycling. In this regard, the determination of the easily transformable soil substance was carried out. Straw utilization methods influenced the content of easily transformable carbon in the soil. Thus, when plowing straw and stubble, its content was higher than in the variants with burning and removal of organic residues.

References

1. Sychev V. G., Shevtsova L. K., Merzlaya G. E. Issledovaniye dinamiki i balansa gumusa pri dlitel'nom primeneni sistem udobreniya na osnovnykh tipakh pochv [Study of the dynamics and balance of humus during long-term use of fertilizer systems on the main types of soils] // *Agrokimiya*. 2018. No. 2. Pp. 3–32. (In Russian.)
2. Popova V. I., Chudinov V. A., Boldysheva E. P., Bekmagambetov A. I. Ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya mineral'nykh udobreniy v polevom zernoparovom vos'mipol'nom sevooborote na obyknovennom chernozeme pri traditsionnoy i resursosberegayushchey sistemakh zemledeliya [Economic efficiency of the use of mineral fertilizers in the field grain-fallow eight-field crop rotation on ordinary chernozem with traditional and resource-saving farming systems] // *Vestnik KrasGAU*. 2020. No. 7. Pp. 16–25. (In Russian.)
3. Fad'kin G. N., Lupova E. I., Vinogradov D. V., Ushakov R. N. Obosnovaniye primeneniya razlichnykh form azotnykh udobreniy pod sel'skokhozyaystvennyye kul'tury i ikh vliyaniye na plodorodiye seroy lesnoy pochvy [Justification of the use of various forms of nitrogen fertilizers for agricultural crops and their impact on the fertility of gray forest soil] // *Vestnik KrasGAU*. 2020. No. 7. Pp. 63–71. (In Russian.)
4. Sorokin I. B., Nikolayeva N. Yu., Valetova E. A., Chudinova Yu. V. Vliyaniye mnogoletnego vneseniya solomy i zelenogo udobreniya na urozhaynost' zernovykh kul'tur v zernoparovom sevooborote [The effect of long-term application of straw and green fertilizer on the yield of grain crops in the grain-steam crop rotation] // *Vestnik NGAU*. 2021. No. 3. Pp. 65–72. (In Russian.)
5. Kuzina E. V. Vliyaniye obrabotki pochvy i udobreniy na urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy [The effect of tillage and fertilizers on the yield and quality of spring wheat grain] // *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2021. No. 1 (61). Pp. 28–33. (In Russian.)
6. Tulina A. S. Vliyaniye temperatury, vlazhnosti i vneseniya solomy na dinamiku mineralizatsii organicheskogo veshchestva i pochvennyye puly ugleroda i azota [Influence of temperature, humidity and straw application on the dynamics of mineralization of organic matter and soil pools of carbon and nitrogen] // *Agrokimiya*. 2019. No. 3. Pp. 3–18. (In Russian.)
7. Shevtsova L. K., Chernikov V. A., Sychev V. G. Vliyaniye dlitel'nogo primeneniya udobreniy na sostav, svoystva i strukturnyye kharakteristiki gumusovykh kislot osnovnykh tipov pochv. Soobshcheniye 1 [The effect of long-term use of fertilizers on the composition, properties and structural characteristics of humic acids of the main types of soils. Message 1] // *Agrokimiya*. 2019. No. 10. Pp. 3–15. (In Russian.)
8. Shevtsova L. K., Belichenko M. V. Gumusnoye sostoyaniye pochv pri dlitel'nom primeneni razlichnykh sistem udobreniy [Humus state of soils with prolonged use of various fertilizer systems] // *Plodorodiye pochv Rossii: sostoyaniye i vozmozhnosti: sbornik statey (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya Tamary Nikandrovny Kulakovskoy)*. Moscow, 2019. Pp. 79–86. (In Russian.)
9. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya. Azot v agrosisteme na chernozemnykh pochvakh. K 125-letiyu ekspeditsii V. V. Dokuchayeva v Kamennuyu Step': monografiya. [Nitrogen in the agricultural system on chernozem soils. To the 125th anniversary of the expedition of V.V. Dokuchaev to Kamennaya Steppe: monograph]. Moscow, 2018. 180 p. (In Russian.)
10. Kogut B. M. Organicheskoye veshchestvo chernozema [Organic matter of chernozem] // *Bulletin of the V. V. Dokuchaev Soil Science Institute*. 2017. No. 90. Pp. 39–55. (In Russian.)
11. Chebotarev N. T., Konkin P. I., Zaynullin V. G. Izmeneniye fraktsionno-gruppovogo sostava i balansa gumusa pod vliyaniem udobreniy na dernovo-podzolistoy pochve Evro-Severo-Vostoka [Changes in the fractional-group composition and balance of humus under the influence of fertilizers on the sod-podzolic soil of the Euro-North-east] // *Plodorodiye*. 2019. No. 6. Pp. 25–28. (In Russian.)

12. 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 Krasnoyarskogo GAU. 2022. No. 2. Pp. 3–11. (In Russian.)
13. Surinov A. V. Dinamika plodorodiya pakhotnykh chernozemov lesostepnoy zony tsentral'no-chernozemnykh oblastey Rossii [Dynamics of fertility of arable chernozems of the forest-steppe zone of the central chernozem regions of Russia] // Vestnik Kazanskogo GAU. 2021. Vol. No. 1 (61). Pp. 57–61. (In Russian.)
14. Khryukin N. N., Dedov A. V., Nesmeyanova M. A. Dinamika razlozheniya rastitel'nykh ostatkov v chernozeme tipichnom [Dynamics of decomposition of plant residues in typical chernozem] // Agrochemical Herald. 2018. No. 1. Pp. 24–29. (In Russian.)
15. Perederiyeva V. M., Vlasova O. I., Dorozhko G. R., Petrova L. N., Vol'ters I. A. Dinamika rastitel'nykh ostatkov v zavisimosti ot tekhnologii vozdeleyvaniya kul'tur na chernozeme obyknovennom [Dynamics of plant residues depending on the technology of cultivation of crops on ordinary chernozem] // Agrochemical Herald. 2018. No. 4. Pp. 38–45. (In Russian.)
16. Coppens F., Garnier P., De Gryze S., Merckx R., Recous S. Soil moisture, carbon and nitrogen dynamics following in incorporation and surface application of labeled crop residues in soil columns // European Journal of Soil Science. 2006. No. 57 (6). Pp. 894–905.
17. Asmus F., Völker U. Einfluß von Strohdüngung auf Ertrag und Bodeneigenschaften in Fruchtfolgen mitunter scheidlichen Getreideanteil // Arch. Acker – u. Pflanzenbau u. Bodenkd. 1984. Vol. 28. No. 7. Pp. 411–417. (In German.)
18. Völker U., Asmus F., Görlitz H. Wirkung von Stalldung, Gülle und Stroh auf die Reproduktion der organischen Substanz von Tieflehm-Fahlerde und Sandlehm-Parabraunerde // Arch. Acker – u. Pflanzenbau u. Bodenkd. 1984. Vol. 28. No. 7. Pp. 595–601. (In German.)
19. Köershens M., Weigel A., Schulz E. Turnover of soil organic matter and longterm balances – tools for evaluating sustainable productivity of soils // Z. Pflanzenernäh Bodenkd. 1998. Vol. 161. Pp. 409–424.

Authors' information:

Kharis S. Yumashev¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of agrochemistry, land monitoring and mass analysis, ORCID 0000-0002-0911-1909, AuthorID 487280; chniisx2@mail.ru
 Irina A. Zakharova¹, candidate of biological sciences, leading researcher, acting head of the laboratory of agrochemistry, land monitoring and mass analysis, ORCID 0000-0002-5770-8064, AuthorID 965725; chniisx2@mail.ru

¹Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy, 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. Liebkecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

A. B. Ручкин – кандидат социологических наук, шеф-редактор

O. A. Багрецова – ответственный редактор

A. B. Ерофеева – редактор

N. A. 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 Универсальная типография «Альфа Принт».

620049, г. Екатеринбург, пер. Автоматики, д. 2Ж.

Дата выхода в свет: 19.12.2022 г. Усл. печ. л. 11,39. Авт. л. 9,19.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.

