



Scientific monograph

# Achievements and research prospects in animal husbandry and veterinary medicine

2023





AKADEMIA POLONIINA  
POLONIA UNIVERSITY

**Polonia University  
in Częstochowa**



**Stepan Gzhytskyi National University  
of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies of Lviv**

# **ACHIEVEMENTS AND RESEARCH PROSPECTS IN ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE**

**Scientific monograph**



**IZDEVNIECĪBA  
BALTIJA  
PUBLISHING**

**2023**

*Recommended for printing and distribution via Internet  
by the Academic Council of Baltic Research Institute  
of Transformation Economic Area Problems according  
to the Minutes № 5 dated 30.05.2023*

**REVIEWERS:**

**Andrzej Krynski** – PhD, ThDr., Prof., Dr h.c. mult., Rector of Polonia University in Częstochowa;

**Volodymyr Stybel** – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Corresponding Member of the NAAS of Ukraine, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor Honoris Causa of the University of Life Sciences in Lublin, Honored Professor of the Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Rector of Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv;

**Vasyl Vlizlo** – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the NAAS of Ukraine, Professor at the Department of Internal Animal Diseases and Clinical Diagnostics, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv;

**Iryna Kovalchuk** – Doctor of Veterinary Sciences, Head of the Department of Normal and Pathological Physiology named after S.V. Stoianovskiy, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv.

**Achievements and research prospects in animal husbandry and veterinary medicine** : Scientific monograph. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2023. 476 p.

© Polonia University in Częstochowa, 2023

© Stepan Gzhytskyi National University  
of Veterinary Medicine

ISBN 978-9934-26-316-3

and Biotechnologies of Lviv, 2023

## CONTENTS

### VETERINARY MEDICINE

AMINO ACID SUBSTITUTIONS FOR POLYMORPHIC LOCI OF HAEMAGGLUTININ, NEURAMINIDASE AND NUCLEOPROTEIN GENES OF H1N1 AND H7N9 STRAINS OF AVIAN INFLUENZA TYPE A (Buriachenko S. V., Stegnyy B. T.).....	10
1. Materials and methods .....	12
2. Results and discussion .....	15
3. Discussion.....	18
<b>PEGYLATED ANTIMICROBIALS</b>	
(Vlizlo V. V., Zelenina O. M., Kozak M. R.).....	24
1. PEGylation of drugs.....	25
2. Creation of PEGylated antibacterial preparations.....	28
3. Antimicrobial properties of PEGylated antibiotic enrofloxacin.....	31
<b>APPLICATION OF PROBIOTICS TO INCREASE THE VITALITY OF BEES (Kovalchuk I. I., Androshulik R. L.) .....</b>	<b>41</b>
1. Current achievements and challenges in the use of probiotics.....	42
2. Use of probiotics in feeding bee colonies.....	44
3. Features of the digestive system of bees and composition of microbiota.....	47
4. Effect of different doses of probiotic <i>Lactobacillus casei</i> B-7280 on bee viability .....	51
<b>EFFICACY OF PROBIOTICS IN LIVESTOCK (Lemishevskiy V. M.) .....</b>	<b>60</b>
1. Theoretical and practical rationale for the use of probiotics.....	62
2. The effect of probiotic feed additives on the morphofunctional state of pigs .....	66
<b>CHRONIC KIDNEY DISEASE IN CATS: MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND CLINICAL-PATHOGENETIC MECHANISMS (Morozenko D. V., Vashchyk Ye. V., Zakhariyev A. V.).....</b>	<b>78</b>
1. Materials, methods and purpose of research .....	79
2. Morphological characteristics of kidneys of cats with chronic kidney disease.....	80
3. Clinical and pathogenetic mechanisms of chronic kidney disease in cats.....	88

THE TOXIC EFFECT OF CADMIUM ON THE ANIMAL BODY  
AND ITS PREVENTION

(Ostapyuk A. Yu., Gutyj B. V., Leskiv Kh. Ya., Shcherbatyi A. R.) ..... 93

1. Man-made pollution of the environment with Cadmium..... 94
2. Negative effects of Cadmium on the body of animals and birds ..... 100
3. Use of drugs and feed additives to prevent the harmful effects  
of heavy metals..... 109

EPIDURAL ANESTHESIA IN RABBITS (*ORYCTOLAGUS CUNICULUS*)  
AS A COMPONENT OF A MULTIMODAL APPROACH  
FOR LAPAROTOMY INTERVENTIONS

(Siehdin O. B., Tymoshenko O. P., Stepanenko H. O.) ..... 125

1. Anatomical and physiological features of anesthetic support  
in hare-like animals ..... 127
2. Features and disadvantages of epidural administration  
of drugs in rabbits ..... 128
3. Body parameters of rabbits under lidocaine epidural blockade  
during ovariectomy (n=12)..... 129
4. Body parameters of rabbits under bupivacaine epidural blockade  
during ovariectomy (n=12)..... 131

EFFECTIVENESS OF INORGANIC AND CHELATE COMPOUNDS  
OF MICROELEMENTS FOR OSTEODYSTROPHY OF COWS

(Slivinska L. G., Fedorovych V. L., Shcherbatyi A. R.) ..... 136

1. Clinical status for cows' osteodystrophy when administering  
inorganic and chelated compounds of microelements ..... 137
2. The content of macroelements in the blood serum of cows  
suffering from osteodystrophy administering inorganic  
and chelated compounds of microelements..... 139
3. The content of microelements in the blood of cows  
with osteodystrophy in the case of using mineral compounds..... 143
4. Changes in the indicators of connective tissue metabolites  
in the blood serum of cows with osteodystrophy during  
the application of trace elements ..... 149
5. The concentration of citric acid in the blood serum of cows  
when using trace elements ..... 155
6. The vitamins A, E, and 25OHD<sub>3</sub> content in blood serum  
for osteodystrophy of cows in the case of the use of trace elements  
and vitamins..... 156

## MORPHOMETRIC FEATURES OF THE CHICKENS

INTESTINAL MUCOSA (Tybinka A. M.).....	165
1. The number of the intestinal mucosa villi .....	166
2. The height of the intestinal mucosa villi .....	172
3. The depth of the intestinal mucosa crypts.....	174
4. The thickness of the intestinal mucosa epithelium.....	178
5. The thickness of the muscular plate of the intestinal mucosa .....	180
6. The number of goblet cells of the intestinal mucosa.....	181

## PROSPECTS FOR THE USE OF MINERALS IN RABBIT

NUTRITION (Yuzviak M. O., Lesyk Ya. V., Salyha Yu.T.).....	190
1. Biological significance of minerals for the body of rabbits.....	191
2. Physiological features of the development of the digestive system of rabbits.....	195
3. Changes in the body of rabbits under the influence of heat stress .....	199
4. Features of the influence of mineral nanocompounds on the body of rabbits under the influence of heat stress.....	203

## TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND PROCESSING OF LIVESTOCK PRODUCTS

### INNOVATIVE DIRECTIONS OF THE BIOTECHNOLOGY OF GROWING *CHERAX QUADRICARINATUS* IN THE AQUACULTURE OF UKRAINE

(Hrynevych N. Ye., Zharchynska V. S.).....	221
1. Australian red-clawed crayfish is a new object of freshwater crustacean aquaculture in Ukraine .....	222
2. Peculiarities of the external structure and biological characteristics of the Australian red-clawed crayfish .....	224
3. Ontogeny and critical periods of development of <i>Cherax quadricarinatus</i> .....	226
4. Analysis of innovative directions of <i>Cherax quadricarinatus</i> cultivation biotechnology.....	228

### TECHNOLOGY OF PREPARATION OF HONEY BEES FOR THE PERIOD OF HYPOBIOSIS

(Kovalskyi Yu. V., Druzhyak A. Yo., Kovalska L. M.).....	236
1. Changes in the body of honey bees during preparation for hypobiosis.....	236
2. Characterization of factors affecting the process of hypobiosis in honey bees .....	241

<b>PRODUCTIVE LONGEVITY OF DAIRY CATTLE</b> (Mazur N. P., Fedorovych Ye. I.).....	253
1. The influence of paratypic factors on the productive longevity of dairy cattle .....	254
2. The influence of genetic factors on the productive longevity of dairy cattle .....	262
<b>ECONOMIC EFFICIENCY OF PRODUCTION OF MEAT LIVESTOCK PRODUCTION</b> (Mylostyva D. F., Farafonov S. Zh., Ryvak R. O.).....	277
1. Target and economic efficiency of the development of the beef cattle breeding industry .....	278
2. Analysis of the development of the beef cattle breeding industry in Ukraine .....	279
3. Analysis and solution of the problem of beef cattle breeding in other countries .....	283
<b>THE INFLUENCE OF THE TYPE OF FEEDING ON MEAT PRODUCTIVITY OF YOUNG CATTLE AND MEAT QUALITY</b> (Razanova O. P., Farionik T. V., Skoromna O. I.).....	292
1. The problem's prerequisites emergence and the problem's formulation .....	293
2. The influence of the concentrated type of feed and salts of microelements on the production of beef from young cattle of different breeds.....	298
3. The effectiveness of the use of complex mineralized premixes to improve the intensity of growth and development of young cattle .....	306
4. Post-slaughter indicators of meat productivity and chemical composition of muscle tissue of cattle fed protein-vitamin premix.....	316
<b>MINERAL ELEMENTS IN SHEEP NUTRITION AND WOOL PROCESSES</b> (Stapay P. V., Stakhiv N. P., Salyha Yu. T.) .....	327
1. Biological role of mineral elements in metabolic processes and nutrition of sheep.....	330
2. The role of mineral elements in the processes of wool formation in sheep .....	332
<b>MILK PRODUCTIVITY OF PODIL FACTORY-TYPE COWS OF THE UKRAINIAN BLACK AND SPOTTED DAIRY BREED</b> (Shuplyk V. V., Shcherbatiuk N. V.).....	350
1. Emergence of the prerequisites of the problem and formulation of the problem.....	350
2. Milk productivity of cows of different lines.....	351
3. Live weight of cows of different lines .....	355
4. The influence of linear belonging on the level of milk productivity .....	358
5. The influence of cultivation on further milk productivity .....	359

## ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

PECULIARITIES OF GENETIC VARIABILITY OF VALUABLE FISH SPECIES (Mariutsa A. E., Nahorniuk T. A., Hlushko Yu. M.) .....	364
1. Peculiarities of genetic structure of paddlefish ( <i>Polyodon spathula</i> ) using three inter-microsatellite loci (ISSR). .....	365
2. Analysis of genetic structure of rainbow trout ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)) by the biochemical systems .....	369
3. Cytogenetic characteristics of valuable fish species .....	371

## PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

### AS AN ASPECT OF MILITARY CONFLICT

(Paraniak R. P., Lytvyn N. A., Matsuska O. V.) .....	380
1. Features of the classification of environmental consequences of military actions .....	380
2. Indirect consequences of military conflict .....	382
3. Environmental risks related to infrastructure destruction during war .....	384
4. Features of the functioning of the natural-reserve fund system in the conditions of war .....	386
5. Systems and methods of documenting environmental crimes of wartime ..	388
6. Separate and general types of environmental violation .....	390

### PECULIARITIES OF THE PATHOGENESIS OF EUSTRONGELIDOSIS IN *PERCA FLUVIATILIS* LINNAEUS, 1758, *SANDER LUCIOPERCA* (LINNAEUS, 1758) AND *ESOX LUCIUS* LINNAEUS, 1758 OF THE DNIPRO (ZAPORIZKA) RESERVOIR

(Sydorenko V. S., Marenkov O. M., Yerukh M. M.) .....	396
1. Analysis of studies and publications related to the infection of fish with the nematode <i>Eustrongylides excisus</i> .....	397
2. Research methods and analysis of the obtained results .....	400

### LITHIUM IN THE NATURAL ENVIRONMENT AND TROPHIC CHAIN

(Sobolev O. I., Petryshak R. A., Naumyuk O. S.) .....	407
1. The history of the lithium discovery .....	407
2. Physical and chemical properties of lithium .....	408
3. The distribution of lithium in the natural environment .....	409
4. Lithium in soils .....	411
5. Lithium in natural waters .....	412
6. Lithium in plants and food products of plant origin .....	415
7. Lithium in food products of animal origin .....	418
8. The levels consumption of lithium with food and human demand for it .....	420
9. Lithium and human health .....	422



<b>ECOLOGICAL STATEMENT OF THE WEST PART OF UKRAINE AND SPREADING OF INTERNAL PATHOLOGY OF SHEEP</b> (Sharandak P. V., Grushanska N. G., Sharandak V. V.) .....	433
1. Trace minerals content in the Luhansk Region soil .....	434
2. Content of Lead and Cadmium in soil of Luhansk Region.....	440
3. Water quality in Luhansk Region .....	445
4. Sheep internal pathology distribution .....	447

**EUROPEAN INTEGRATION PROSPECTS FOR THE  
DEVELOPMENT OF UKRAINE’S AGRARIAN ECONOMY**

<b>CONCEPTUAL BASES OF FORMATION AND MANAGEMENT OF LOGISTICS SYSTEMS IN THE FIELD OF ANIMAL HUSBANDRY</b> (Kolodiichuk V. A., Hrymak O. Ya., Kolodiichuk I. A.) .....	454
1. Definitions of systems theory in material flow logistics .....	455
2. Main provisions of the concept of meat and dairy products logistics.....	460
3. Principles of design and management of logistics systems in the livestock industry .....	467

# 01

## CHAPTER



# Veterinary medicine

**AMINO ACID SUBSTITUTIONS FOR POLYMORPHIC LOCI  
OF HAEMAGGLUTININ, NEURAMINIDASE  
AND NUCLEOPROTEIN GENES OF H1N1 AND H7N9 STRAINS  
OF AVIAN INFLUENZA TYPE A**

**Buriachenko S. V., Stegnyy B. T.**

**INTRODUCTION**

The influenza virus belongs to the family *Orthomyxoviridae*, which contains the segmented RNA-negative genome. By its antigenic composition the above virus is divided into three types: A, B and C<sup>1</sup>. Influenza virus types A and B are associated with highly contagious infections of the respiratory tract, which result in a high incidence of the disease and mortality<sup>2</sup>. Complications, hospitalization and the associated death are the most common consequences for young children, persons with chronic diseases and elderly people<sup>3</sup>. Every year seasonal epidemics of influenza affect up to 500 million people, causing 3-5 million cases of severe disease, death of up to 500,000 patients and significant economic losses all over the world<sup>4</sup>. The virulence, pathogenicity and range of affection of the influenza virus have been sufficiently studied. For example, the effect of various factors on the above indices was revealed<sup>5</sup>. In particular, virus-specific determinants, encoded with the virus genome, were found out to be the main components of the virus survival and pathogenesis. At present, the factors that cause appearance of a new strain of the influenza virus, may include: 1) spreading of highly pathogenic influenza viruses among domestic birds; 2) a documented transmission of the avian influenza virus from man to man. Birds are known to be natural hosts of all known strains of influenza A virus<sup>6</sup>. The most

---

<sup>1</sup> Koçer Z. A., Krauss S., Zanin M., Danner A., Gulati S., Jones J. C., Friedman K., Graham A., Forrest H., Seiler J., Air G. M. and Webster R. G. (2015). Possible basis for the emergence of H1N1 viruses with pandemic potential from avian hosts. *Emerg Microbes Infect.* 4(7), e40.

<sup>2</sup> Wang J., Li P., Yu Y., Fu Y., Jiang H., Lu M., Sun Z., Jiang S., Lu L. and Wu M. X. (2020). Pulmonary surfactant-biomimetic nanoparticles potentiate heterosubtypic influenza immunity. *Science*, 367(6480), eaau0810.

<sup>3</sup> Kormuth K. A., Lin K., Qian Z., Myerburg M. M., Marr L. C. and Lakdawala S. S. (2019). Environmental Persistence of Influenza Viruses Is Dependent upon Virus Type and Host Origin. *mSphere*, 4(4), e00552-19.

<sup>4</sup> Lafond K. E., Praptiningsih C. Y., Mangiri A., Syarif M., Triada R., Mulyadi E., Septiawati C., Setiawaty V., Samaan G., Storms A. D., Uyeki T. M. and Iuliano A. D. (2019). Seasonal Influenza and Avian Influenza A(H5N1) Virus Surveillance among Inpatients and Outpatients, East Jakarta, Indonesia, 2011-2014. *Emerg Infect Dis*, 25(11), 2031-2039.

<sup>5</sup> Van de Sandt C. E., Kreijtz J. H., de Mutsert G., Geelhoed-Mieras M. M., Hillaire M. L., Vogelzang-van Trierum S. E., Osterhaus A. D., Fouchier R. A. and Rimmelzwaan G. F. (2014). Human cytotoxic T lymphocytes directed to seasonal influenza A viruses cross-react with the newly emerging H7N9 virus. *J Virol*, 88(3), 1684-93.

<sup>6</sup> Venkatesh D., Poen M. J., Bestebroer T. M., Scheuer R. D., Vuong O., Chkhaidze M., Machabliashvili A., Mamuchadze J., Ninua L., Fedorova N. B., Halpin R. A., Lin X., Ransier A., Stockwell T. B., Wentworth D. E., Kriti D., Dutta J., van Bakel H., Puranik A., Slomka M. J.,

important virulence factors of the influenza virus are as follows: surface proteins haemagglutinin (HA), which contains subunits HA1 and HA2, and neuraminidase (NA) that provide attachment to the host cell, and nucleoprotein replication factor (NP)<sup>7</sup>. Depending upon the structure of HA and NA, influenza A virus is subdivided into subtypes. To this date it is known that there are 18 subtypes of HA and 11 subtypes of NA. About 30 combinations of HA and NA pairs have been identified in the bird population. As for the human population, mostly three combinations of HA and NA pairs circulate in it: H1, H2 and H3 as well as N1, N2 and N8<sup>8</sup>. Usually epizooty is caused by H1N1 and H7N9 strains, which are highly virulent<sup>9</sup>. By results of a phylogenetic study it has been revealed that influenza A viruses can overcome interspecific barriers, but the molecular processes that result in a change of the host have not been sufficiently studied<sup>10</sup>. In the process of circulation of the influenza virus constant changes of its properties take place owing to adaptive mutations targeted at getting pathogenic properties for animals and people<sup>11</sup>. At the same time, mutations may result in getting pathogenic properties by an avirulent virus. RNA mutations and reassortment are general mechanisms of a genome change<sup>12</sup>. Domination of reassortment and convergence processes in the influenza virus has been studied. Besides, the polymorphism of pathogenicity factors, which have antigenic properties, is taken into account in development of therapeutic methods, particularly monoclonal antibodies, and is important for diagnosing the pathogen<sup>13</sup>. Development of an effective

---

Essen S., Brown I. H., Fouchier R. A. M. and Lewis N. S. (2018). Avian Influenza Viruses in Wild Birds: Virus Evolution in a Multihost Ecosystem. *J Virol*, 92(15), e00433-18.

<sup>7</sup> Mahardika G. N., Suartha N. I., Kencana G. A. Y., Suardana I. B. K., Mahardika W. W. and Budayanti N. S. (2019). Biochemistry and computer generated graph comparison of the structural and nonstructural proteins of Spanish-1918 Influenza, pandemic-2009 and bird flu viruses. *Acta Biochim Pol*, 66(3), 329-336.

<sup>8</sup> Suttie A., Deng Y., Greenhill A. R., Dussart P., Horwood P. F. and Karlsson E. A. (2019). Inventory of molecular markers affecting biological characteristics of avian influenza A viruses. *Virus Genes*, 55(6), 739-768.

<sup>9</sup> Ruan B. Y., Wen F., Gong X. Q., Liu X. M., Wang Q., Yu L. X., Wang S. Y., Zhang P., Yang H. M., Shan T. L., Zheng H., Zhou Y. J., Tong W., Gao F., Tong G. Z. and Yu H. (2018). Protective efficacy of a high-growth reassortant H1N1 influenza virus vaccine against the European Avian-like H1N1 swine influenza virus in mice and pigs. *Vet Microbiol*, 222, 75-84.

<sup>10</sup> Allison B., Ballard J. R., Tesh R. B., Brown J. D., Ruder M. G., Keel M. K., Munk B. A., Micklely R. I. M., Gibbs S. E. J., Travassos da Rosa A. P. A., Ellis J. C., Ip H. S., Shearn-Bochsler V. I., Rogers M. B., Ghedin E., Holmes E. C., Parrish C. R., and C. Dwyerj (2015). Avian Mass Mortality in the Northeastern United States Is Associated with a Novel Orthomyxovirus. *J Virol*, 89(2), 1389-1403.

<sup>11</sup> Chen H., Liu S., Liu J., Chai C., Mao H., Yu Z., Tang Y., Zhu G., Chen H. X., Zhu C., Shao H., Tan S., Wang Q., Bi Y., Zou Z., Liu G., Jin T., Jiang C., Gao G. F., Peiris M., Yu H. and Chen E. (2016). Nosocomial Co-Transmission of Avian Influenza A(H7N9) and A(H1N1) pdm09 Viruses between 2 Patients with Hematologic Disorders. *Emerg Infect Dis*, 22(4), 598-607.

<sup>12</sup> Riegger D., Hai R., Dornfeld D., Mänz B., Leyva-Grado V., Sánchez-Aparicio M. T., Albrecht R. A., Palese P., Haller O., Schwemmler M., Garcia-Sastre A., Kochs G. and Schmolke M. (2015). The nucleoprotein of newly emerged H7N9 influenza A virus harbors a unique motif conferring resistance to antiviral human MxA. *J Virol*, 89(4), 2241-52.

<sup>13</sup> Ahn S. J., Baek Y. H., Lloren K. K. S., Choi W. S., Jeong J. H., Antigua K. J. C., Kwon H. I., Park S. J., Kim E. H., Kim Y. I., Si Y. J., Hong S. B., Shin K. S., Chun S., Choi Y. K. and Song M. S. (2019). Rapid and simple colorimetric detection of multiple influenza viruses infecting

therapy for influenza and diagnosis of the influenza virus is complicated by a high rate of accumulation of mutations by these viruses. Consequently, detection of polymorphous protein regions – pathogenicity factors of the influenza virus – is of great importance for health protection<sup>14</sup>. The association of polymorphism of the influenza virus with the course of an infectious process in the affected person remains unstudied. The purpose of the present research consisted in revealing amino acid HA, NA and NP substitutions in H1N1 and H7N9 strains of influenza A virus, studying their effect on the domain composition of the above proteins as well as finding out HA1, HA2, NA and NP amino acid sequences that are unique for each strain and common.

### 1. Materials and methods

The studies were performed on HA1, HA2, NA and NP amino acid sequences of H1N1 and H7N9 strains of avian influenza A virus received from the National Centre of Biotechnology Information<sup>15</sup>. All the sequences available at the time of the research were used. The polymorphism of HA, NA and NP was studied by means of local alignment of selected sequences by the Smith-Waterman algorithm with help of VectorNTI-11 program<sup>16</sup>. The study used the demo version of VectorNTI-11, which does not require licensing. Polymorphous loci were determined against the longest amino acid sequences of proper proteins. HA, NA and NP polymorphism was analysed both inside each strain and between the strains. The effect of polymorphism of HA, NA and NP amino acid sequences on the domain composition of these proteins was revealed by determination of the domains, formed by the studied amino acid sequences, with help of the free DELTA-BLAST program.

The following HA1 amino acid sequences of H1N1 strain were used in the study: NP\_040980.1, YP\_163735.1, AGO00361.1, AYA81842.1, ABP64721.1, BAV59611.1, ALN12098.1, AAA58801.1, AFM71846.1, AAA58799.1, AMN87912.1, AMN87915.1, AMN87916.1, ACF41834.1, ALO75885.1, P03452.2, AAM75158.1, ABN59412.1, CAA91082.1, CAA91081.1, AAA58800.1, ADX99658.1, ADX99484.1, ACO94826.1, AGO00337.1, ADX99691.1, ADX99953.1, ADX99942.1, ALO75884.1, ADX99680.1, 1RU7\_A, 1RVX\_A, AGQ47990.1, A4GCL9.1, AGQ48002.1, ADT79097.1, AGQ48014.1, AGQ48026.1, AGO00421.1, ACV49556.1, ADT78919.1, ABD62843.1, ABO38054.1, 6OSR\_A, ACV89516.1, AGQ48038.1, AEX92930.1, ABD79101.1, ACR15348.1, AGQ48050.1, A4U6V2.1, ADK95053.1, AAM76688.1, AEX92921.1, A4GCK8.1, AEM60005.1, AAM76691.1, AAM76686.1, AEX92901.1, ABD77796.1,

---

humans using a reverse transcriptional loop-mediated isothermal amplification (RT-LAMP) diagnostic platform. *BMC Infect Dis*, 19(1), 676.

<sup>14</sup> Rijal P., Wang B. B., Tan T. K., Schimanski L., Janesch P., Dong T., McCauley J. W., Daniels R. S., Townsend A. R. and Huang K. A. (2020). Broadly Inhibiting Antineuraminidase Monoclonal Antibodies Induced by Trivalent Influenza Vaccine and H7N9 Infection in Humans. *J Virol*, 94(4), e01182-19.

<sup>15</sup> National Centre of Biotechnology Information, [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)

<sup>16</sup> Smith S. and Waterman M. Identification of Common Molecular Subsequences. (1981). *J. Mol. Biol.*, 147, 195-197.

AFM71890.1, ACV49534.1, AAL02002.1, AAL02003.1, AAA79727.1, ADK95049.1, AAA67183.1, AAA92279.1, AAA92280.1, 6MYA\_A.

The following HA2 amino acid sequences of H1N1 strain were used in the study: ABD60944.1, ABA87045.1, ABO32992.1, ABN50900.1, ABN50756.1, ABO44134.1, ABF47748.1, ABP49338.1, ABP49448.1, ABG88333.1, ABN59423.1, ABD60933.1, ABD95339.1, ABO52258.1, ABF47715.1, ABO33006.1, ABG88344.1, ABQ01322.1, ABY81349.1, ABQ01311.1, AFO64846.1, ABA42575.1, ABF21274.1, ABO38032.1, AFQ90528.1, AFO64813.1, ABV29733.1, ABQ44471.1, ABN59434.1, YP\_163736.1, AFD32426.1, NP\_040980.1, AGO00361.1, AEX92901.1, AFD32427.1, AGO00337.1, ADX99614.1, ADX99636.1, AAM75158.1, ADX99484.1, AGO00421.1, AGQ48038.1, AGQ48002.1, ADX99625.1, AGQ48014.1, ADX99680.1, AFM71846.1, ADY00009.1, ADX99986.1, AGQ47978.1, AGO00409.1, AGQ47966.1, AEX92893.1, ACO94826.1, ACO94837.1, ABP64731.1, ADX99691.1, ADX99953.1, AGQ48026.1, ABD60944.1, ABA87045.1, ABO32992.1, ABN50900.1, ABN50756.1, ABO44134.1, ABF47748.1, ABP49338.1, ABP49448.1, ABG88333.1, ABN59423.1, ABD60933.1, ABD95339.1, ABO52258.1, ABF47715.1, ABO33006.1, ABG88344.1, ABQ01322.1, ABY81349.1, ABQ01311.1, AFO64846.1, ABA42575.1, ABF21274.1, ABO38032.1, AFQ90528.1, AFO64813.1, ABV29733.1, ABQ44471.1, ABN59434.1, ADX99898.1, ADX99865.1, ADX99942.1, ADX99876.1, ADX99887.1, ADX99669.1, ACF41834.1, AGQ48050.1, AGQ47990.1, ADX99975.1, ADX99658.1, ADX99997.1, ABO21709.1, AEX92930.1, ACR15348.1, BAV59611.1, AAK70464.1, AEX92884.1, AYA81842.1, ABN59412.1, AEX92912.1, ALN12098.1, ADX99931.1, ABP64721.1, AB192302.1, CAA91081.1, AEX92921.1, CAA91082.1, 2WRG\_I, ABO32981.1

The following HA1 amino acid sequences of H7N9 strain were used in the study: AKM15203.1, AID70634.1, AGR84954.1, AGR49698.1, AGR84990.1, AGN69474.1, AIZ70026.1, AGR49554.1, AGY41881.1, AJJ91402.1, AHF20558.1, APW83929.1, APP92109.1, AIU47013.1, AJJ91725.1, AIZ70019.1, AGW82588.1, AHK10800.1, ASV61440.1, AJU15334.1, YP\_009118475.1, AHZ59759.1, AIZ70036.1, AGR84930.1, AJU15330.1, AJU15329.1, AJU15327.1, ASV61092.1, AGL95098.1, AGL95088.1, AGR49435.1, AGR33894.1, ASV61752.1, AGI60301.1, AGK84863.1, AJJ97841.1, AIK26572.1, AJJ97267.1, AHF20568.1, AIU46619.1, ANW83224.1, ATS92038.1, AJJ97899.1, AJS16505.1, AUO83035.1, AJJ95346.1, AJJ91969.1, AJS16509.1, AJS16467.1, AHZ39746.1, 5VAG\_A, AGQ81043.1, AGR49399.1, AHZ39686.1, ATS92035.1, AGR49566.1, AGO02477.1, AGR85002.1, ASV61764.1, AHJ57418.1, YP\_009118482.1, AHZ59783.1, AJJ96978.1, AHD25003.1, AKU41151.1, AJJ95584.1, AGK84857.1, 4LN6\_A, AHD25002.1, AGI60292.1, AGR85026.1, AJJ95620.1, APW83918.1, AJJ97998.1, AGR49590.1, ASV61512.1, AJJ97745.1, AHM24224.1, AJS16502.1, AGN69420.1, AJS16508.1, AGR49495.1, ALR82242.1, AJU15340.1, ASV61416.1, AJJ91155.1, AJJ90673.1, AGJ73503.1, ATS92034.1, AHN96472.1, AJJ91993.1, AGR84942.1

The following HA2 amino acid sequences of H7N9 strain were used in the study: YP\_009118483.1, AJS16513.1, AJS16512.1, AJS16511.1, APP92108.1, AIZ70028.1, AIN76383.1, AJJ93027.1, ANU25458.1, ALR82254.1, AJJ96720.1, AJJ92967.1, AGW82600.1, AJJ91314.1, AJJ97002.1, AJJ95596.1, AGJ72861.1AHF20528.1, AHF20568.1, AJJ91957.1, AGR49590.1, AGN69462.1, AGO02489.1, AGR84942.1, APR73174.1, AHN96472.1, AJS16473.1, AJS16475.1, AKU46387.1, AJJ94344.1, AJJ97973.1, AHH30772.1, AJJ90795.1, AJJ96889.1, AGR49626.1, AJJ91476.1, AGI60292.1, AKU41151.1, AKU46228.1, AGK84863.1, ASV61284.1, AJJ94182.1, ANW83224.1, AIZ70027.1, ASV61764.1, YP\_009118475.1, AHH25185.1, AKU42294.1, AJJ93907.1, AGK84857.1, AGI60301.1, AGR49435.1, AJJ92031.1, AGR49722.1, AJJ97998.1, AJJ93051.1, AJJ95227.1, AJJ91035.1, AGR49566.1, AHM24224.1, AJJ93931.1, AGR49399.1, AGJ73503.1, ASV61728.1, AJJ93857.1, AIU46619.1, AGN69400.1, AHZ59783.1, AHH25174.1, AJS16607.1, AJS16469.1, AKU42148.1, AJJ96817.1, AJJ97781.1, AJJ95382.1, APP92106.1, AJJ90951.1, AJJ90490.1, AJJ94206.1, AJJ90588.1, AHA56910.1, AGL43637.1, AJJ97345.1, AHZ39710.1, AGN69420.1, AIZ70019.1, AJI76477.1, ASV61296.1, ASV61404.1, AKU41544.1, AHZ39746.1, AGQ81043.1.

The following NA amino acid sequences of H1N1 strain were used in the study: ADK33824.1, AGI53189.1, ADN24758.1, ACZ97470.1, ADD22688.1, AFQ90540.1, ADN26043.1, ADM13024.1, ADB90356.1, ADM32654.1, ADB89584.1, ADD74611.1, AEH94520.1, AEW25689.1, ADB89354.1, ACZ96182.1, ADE28984.1, ADD74801.1, ADK87316.1, ADD14092.1, ACX31910.1, ADK90265.1, AKQ10657.1, AGY41946.1, ACZ16643.1, bADI24520.1, ACY77615.1, AFN18326.1, AGI54253.1, ADM14693.1, BAJ10045.1, ACV04435.1, AGI53997.1, AEA29510.1, AKQ10415.1, AEJ82830.1, ACU68925.2, ACP44181.1, ACY46764.1, ADD74961.1, ACV33157.1, ADM14648.1, ACV70997.1, ACZ96030.1, ACZ17013.1, ADD97524.1, AEV53457.1, ADL32357.1, AGI54100.1, ADI52831.1, ADK90237.1, ADX96479.1, ADE20951.1, ADF27412.1, ADN24673.1, AKQ10987.1, AGI55292.1, ACV41983.1, AEA29519.1, ADD23468.1, ADD97364.1, AEV21636.1, ADG42646.1, AGI54402.1, AEM92430.1, ACS78029.1, ACZ17033.1, ADE45500.1, ADB81411.1, AEW25575.1, AEJ10483.1, AGI54083.1, AEW25448.1, ACT33127.1, ADB89694.1, ACT67118.1, AFX96781.1, ADN24744.1, AEK85537.1, ADV74736.1, ACZ17253.1, AEK85554.1, ADE21061.1, ADD21777.1, ADG58915.1, AEL97634.1, AFK14387.1, ACS72692.1, AGI52456.1, ADI52833.1, AFR84885.1, ADD23323.1, ADN26158.1, ACS72664.1, ADK98505.1, AFX96937.1, AEA29511.1, AFB70179.1, ACR40331.1, AEW25464.1.

The following NA amino acid sequences of H7N9 strain were used in the study: ATS92054.1, AJJ90687.1, AJJ93871.1, AGQ81976.1, AGN69476.1, AGK82159.1, AGR49580.1, ASV61490.1, AHH25187.1, AJJ94840.1, AJU15337.1, AJJ90797.1, ASV61262.1, AJJ97975.1, AJJ91145.1, ASV61286.1, AGL95090.1, AGR49425.1, AGR85052.1, AJJ97795.1,

AJJ90953.1, AGR49592.1, AGR49544.1, AHK10591.1, AGR49532.1, AJW32098.1, ANU24932.1, AJJ93909.1, AGM16238.1, AHM24250.1, AGI60295.1, AHH30761.1, YP\_009118481.1, AHH30773.1, AGI60300.1, AHJ57413.1, AJJ90675.1, AJJ91935.1, AGR49568.1, AGR49760.1, AGR49389.1, AGR49341.1, AGN69426.1, AGO02479.1, AKU41382.1, AGR84956.1, AHH25199.1, AJJ95229.1, AGR49604.1, AGR49485.1, AHN96324.1, AGR84932.1, AGR49365.1, AHK10594.1, AIU46991.1, AGN69512.1, AHZ39701.1, AJJ95384.1, AJJ94334.1, AKM15200.1, AJJ90663.1, AHN96474.1, AJJ95622.1, AJJ95050.1, ATS92053.1, AJJ94232.1, AHK10593.1, AHM24226.1, AJJ97783.1, ATS92055.1, ASV61754.1, AJJ91947.1, AJJ93847.1, AJJ95598.1, ATS92052.1, AGQ81981.1, AJJ94510.1, AHK10589.1, AJJ91404.1, ASV61442.1, AJU15341.1, AJJ94256.1, AGQ81979.1, AJJ95658.1, AJJ94160.1, AJJ94608.1, AKU46231.1, AJJ90785.1, ASV61418.1.

The following NP amino acid sequences of H1N1 strain were used in the study: BAM78369.1, ACT36670.1, ADJ37775.1, ADG08431.1, AEW25520.1, AFN18529.1, ADN78215.1, ADT64325.1, ADM14803.1, AKQ12262.1, ADN24895.1, ADX96668.1, ADM52588.1, AEA73805.1, ACZ98392.1, AGB13254.1, ACV70998.1, AKQ12284.1, ACP41106.1, ADD22525.1, ADJ37757.1, ADF27593.1, ADB89225.1, ACZ16924.1, AEW25417.1, ADM14785.1, AFG31234.1, ADB89255.1, ACZ17462.1, ADB89525.1, AEA72769.1, BAM78369.1, AFJ23034.1, ACY46904.1, ADN24937.1, ADM31692.1, ADB89545.1, ADX98699.1, AEE27191.1, ADH02012.1, AEX30601.1, ADE28774.1, ADE21072.1, ACQ63215.1, ADG42527.1, ADK33725.1, AHM98738.1, AFN18250.1, ACS94528.1, ADD23284.1, ADI49264.1, ADD74374.1, ADK21867.1, ACS77980.1, AHY84489.1, ADJ40548.1, ADO12227.1, AFX96375.1, ACU17526.1, ACZ96011.1, ACV70117.1, ADF83909.1, ADD97285.1, ARI70433.1, ADA83623.1, AGK24358.1, ADF27453.1, ADN24972.1, ADD98082.1, ADN24909.1, AHM98840.1, AGI53108.1, AFD98314.1, ACZ16784.1, ADN24800.1, AEM92429.1, ADM13205.1, ACU27042.1, ADE28804.1, AEO19866.1, ADI99734.1, ACT68189.2, ADM13025.1, ADM13015.1, AGB13204.1, ACV53451.1, AFP35878.1, AEI87048.1, AIC65238.1, ADM32092.1, ADI99724.1, AEH21800.1, ACR56424.1, ACZ98302.1, AFE11318.1, AEW25655.1, AFK14351.1, AEJ10434.1, ADJ37774.

The following NP amino acid sequences of H7N9 strain were used in the study: AGW82589.1, ASV61573.1, AKU41795.1, ARG44228.1, AJJ91528.1, AIZ69613.1, ASV61477.1, AKU42080.1, AHM24249.1, AGM16236.1, ASV61333.1, AJJ93220.1, AKU41747.1, ARG44230.1, AGJ73514.1, AJJ91403.1, APW84094.1, AGQ82223.1, ASV61213.1, ASV61501.1, AGX00944.1, ASV61177.1, AIZ69619.1, AUN86908.1, ARG42918.1, ASV61861.1, AIZ69626.1, AGY41872.1, AUN86910.1, AJJ91970.1, ASV62029.1.

## 2. Results and discussion

By the result of alignment of the studied amino acid sequences their polymorphism was determined (Tables 1, 2).



Table 1

**HA1, HA2, NA and NP polymorphism of H1N1 strain of avian influenza**

<b>Protein</b>	<b>Amino acid sequence</b>	<b>Protein region</b>	<b>Type of polymorphism</b>
HA1	NP_040980.1	14-15, 444, 64-65, 356-357, 556-557	Insertion
		39-41, 74-75, 81-83, 98-100, 114-115, 130-132, 135-136, 138-139, 149-150, 153-157, 172-173, 187-188, 293-195, 304-306, 538-539	Deletion
		Uniformly along the whole sequence	Single amino acid substitution
HA2	AFQ90528.1	8-10, 33-35, 60-62, 101-103, 184-188, 221-224, 299-302, 378-379, 404-410, 442-445, -490-493, 501-503, 523-524, 540-542, 550-552	Insertion
		27-28, 42-44, 50-52, 77-78, 92-94, 121-124, 138-141, 201-203, 255-257, 284-286, 345-348, 390-394, 420-424, 470-473, 496-498.	Deletion
		Uniformly along the whole sequence	Single amino acid substitution
NA	AEW25464.1	1-7, 49-50, 54-55, 81-83, 264-266, 325-327, 341-342, 395-399, 456-457, 462-463, 467-469, 479-480, 487-494	Deletion
		37, 61, 65, 70-71, 74-76, 92, 98-99, 261, 423, 427-428	Insertion
		Uniformly along the whole sequence	Single amino acid substitution
NP	ADJ37774	1-15, 515-522	Deletion
		Uniformly along the whole sequence	Single amino acid substitution

Table 2

**HA1, HA2, NA and NP polymorphism of H7N9 strain of avian influenza**

<b>Protein</b>	<b>Amino acid sequence</b>	<b>Protein region</b>	<b>Type of polymorphism</b>
HA1	AGR84942.1	9, 20-22, 29-32, 44-46, 60-62, 78-81, 95-98, 117, 122-123, 134-136, 220, 223-225, 238, 240, 257-259, 302-304, 378-381, 432-434, 478-479, 510-512, 530, 532-533, 538, 540--542	Insertion
		11-12, 34, 57-58, 85-86, 110-112, 156-157, 203-204, 270-272, 245, 399-401, 498, 520-522	Deletion
		Uniformly along the whole sequence	Single amino acid substitution
HA2	AGQ81043.1	12-13,34-36, 42, 48, 56-58, 76-77, 83-84, 101-103, 134-135, 176-178, 190-193, 203-205, 267-268, 290-293, 356-359, 423-426, 467-469	Insertion
		23, 45, 66-68, 73, 98-99, 121, 155, 188, 199, 223, 255, 280, 320, 380, 400, 450-452	Deletion
		Uniformly along the whole sequence	Single amino acid substitution
NA	ASV61418.1	23, 35, 45-46, 59, 64, 89, 124, 168, 200-201, 240-242, 287-289, 300, 345, 421, 425, 427-428	Deletion
		5, 30, 40,71, 77, 91, 99, 110, 145-146, 170, 183, 190, 204-205, 230-232, 250, 311-312, 377-378, 406-410, 423	Insertion
		Uniformly along the whole sequence	Single amino acid substitution
NP	ASV62029.1	3, 44, 46, 59-60, 73-74, 80-82, 94, 100, 102, 145, 155-156, 189-190, 203-205, 234-236, 255, 313-314, 358, 377, 401, 420-422, 451-452, 470	Deletion
		10-11, 23-24, 50-51, 70, 89-90, 112, 133-134, 161-162, 170-172, 210-213, 220-222, 244-245, 267-268, 278, 294, 303-304, 323, 345, 366, 389-390, 410-412, 433-434, 460-462	Insertion
		Uniformly along the whole sequence	Single amino acid substitution

By the result of alignment of HA1, HA2, NA and NP amino acid sequences of H1N1 and H7N9 strains of avian influenza, absence of identical sequences of one protein in different strains was shown. By the result of our analysis all the studied HA1 amino acid sequences of H1N1 and H7N9 strains of the avian influenza virus contained PRK07726 domain, HA2 sequences contained Mplasa\_alpha\_rch domain, NA sequences contained pfam00064 domain, and NP sequences contained pfam00506 domain. PRK07726 domain is a component of DNA topoisomerase III, pfam00064 domain takes part in cleavage of sialic acid residues, while pfam00506 domain causes construction of a capsid around the viral RNA. The functions of Mplasa\_alpha\_rch domain remain unknown<sup>17</sup>.

### 3. Discussion

The level of HA1, HA2 and NA polymorphism of H1N1 and H7N9 strains of avian influenza is the same. Single amino acid substitutions, uniformly represented along all amino acid sequences, are the most widespread mutations. This fact is in complete accord with the described mechanism of the formation and spreading of the above type of mutations<sup>18</sup>. The more widespread forms of the length polymorphism are deletion among H1N1 strain sequences and insertion among H7N9 strain sequences. Insertions and deletions among HA2 sequences of the both studied strains have an approximately equal spreading. Deletion is the more widespread form of the length polymorphism among NA sequences of H1N1 and H7N9 strains. The most widespread NP mutations of the both studied strains are single amino acid substitutions, which are uniformly represented along all amino acid sequences. NP length polymorphism is poorly expressed in H1N1 strain and is presented by deletions on the ends of sequences. H7N9 strain has deletions and insertions along amino acid sequences. Results of the study coincide with previous studies. Side by side with the above finding, more polymorphous regions were revealed in NP of H7N9 strain. Though properties of viral proteins are for the most part determined by post-translational modification, the more expressed NP polymorphism of H7N9 strain can cause or be associated with a wider variety of symptoms after a person is infected with this strain<sup>19</sup>.

By the result of alignment we found identical sequences of each of the proteins studied inside H1N1 and H7N9 strains, but not between them. The

---

<sup>17</sup> Boyoglu-Barnum S., Hutchinson G. B., Boyington J. C., Moin S. M., Gillespie R. A., Tsybovsky Y., Stephens T., Vaile J. R., Lederhofer J., Corbett K. S., Fisher B. E., Yassine H. M., Andrews S. F., Crank M. C., McDermott A. B., Mascola J. R., Graham B. S. and Kanekiyo M. (2020). Glycan repositioning of influenza haemagglutinin stem facilitates the elicitation of protective cross-group antibody responses. *Nat Commun*, 11(1), 791.

<sup>18</sup> Hasan M. S., Wu X. and Zhang L. (2019). Uncovering missed indels by leveraging unmapped reads. *Sci Rep*, 9, 11093.

<sup>19</sup> Wang C., Yu H., Horby P. W., Cao B., Wu P., Yang S., Gao H., Li H., Tsang T. K., Liao Q., Gao Z., Ip D. K. M., Jia H., Jiang H., Liu B., Ni M. Y., Dai X., Liu F., Kinoshita N. V., Liem N. T., Hien T. T., Li Y., Yang J., Wu J. T., Zheng Y., Leung G. M., Farrar J. J., Cowling B. J., Uyeki T. M., and Li L. (2014). Comparison of Patients Hospitalized With Influenza A Subtypes H7N9, H5N1, and 2009 Pandemic H1N1. *Clin Infect Dis*, 58(8), 1095-1103.

absence of identical HA1, HA2, NA and NP amino acid sequences in the studied strains can result in differences in the course of the infectious process, these differences being caused by the above strains<sup>20</sup>. This phenomenon can be explained by different artificial selection factors, which produced their effect on the evolution of H1N1 and H7N9 strains. Also, molecular markers for identification of the studied strains can be developed on the basis of specific regions of HA1, HA2, NA and NP.

Despite the significant polymorphism of the studied proteins, the high rate of accumulation of mutations and exchange of genetic information between different influenza virus strains, particularly by the process of reassortment, all HA1, HA2, NA and NP amino acid sequences formed, respectively, PRK07726, Mplasa\_alpha\_rch, pfam00064 and pfam00506 domains. The absence of a variety of the domain composition in the studied amino acid sequences of H1N1 and H7N9 strains may demonstrate conservativeness of the revealed domains and their vital importance for the influenza virus. A considerable part of the revealed domains is probably formed by conservative regions of HA1, HA2, NA and NP sequences.

All above facts necessitate a further study of Mplasa\_alpha\_rch domain, whose functions are unknown at present.

## CONCLUSIONS

In the process of our research we analysed the polymorphism of HA1, HA2, NA and NP amino acid sequences of H1N1 and H7N9 strains of the influenza virus. Types of mutations were shown; variable and conservative regions were identified. It was revealed that single amino acid substitutions were the most widespread type of polymorphism for all studied proteins of H1N1 and H7N9 strains. The findings coincide with previous results of study of polymorphism in other HA1, HA2, NA and NP samples of H1N1 and H7N9 strains of the influenza virus. However, larger NP polymorphism of H7N0 strain was found out. The absence of identical amino acid sequences of the studied proteins in H1N1 and H7N9 strains was shown. Results of the studies of variability in HA, NA and NP amino acid sequences of H1N1 and H7N9 strains of the influenza virus can be used later in developing diagnostics and therapy of influenza as well as in studying its evolution. By results of our studies we revealed absence of variability in the domain composition, formed by HA, NA and NP amino acid sequences of H1N1 and H7N9 strains of the influenza virus, this fact demonstrating their conservativeness and significant importance for the studied strains.

---

<sup>20</sup> Wang J., Xu H., Yang X., Zhao D., Liu S., Sun X., Huang J. A. and Guo Q. (2017). Cardiac complications associated with the influenza viruses A subtype H7N9 or pandemic H1N1 in critically ill patients under intensive care. *Braz J Infect Dis*, 21(1), 12-18.

## SUMMARY

At present, the influenza virus is one of the main causes of diseases of people from different age and social groups. Every year influenza results in death of a significant part of population and causes considerable economic losses. The virulent and pathogenic properties of the influenza virus are largely due to the presence of haemagglutinin, nucleoprotein and neuraminidase proteins in it, which ensure the infection and reproduction of this pathogen in the cell. The sequencing and analysis of pathogens are an important component of epidemiological monitoring, which includes early isolation and detection of seasonal (circulating) influenza viruses as well as identification of new influenza virus subtypes that may cause an epidemiological outbreak. In order to prevent epidemiological complications and develop effective diagnostics, information is needed on the structure of the obtained influenza virus samples. The purpose of the present work consisted in studying the polymorphism of haemagglutinin, neuraminidase and nucleoprotein of H1N1 and H7N9 strains of avian influenza A virus, studying its strain-specificity and revealing its effect on the structure of domains of these proteins by bioinformatic methods. Amino acid sequences of haemagglutinin, neuraminidase and nucleoprotein of H1N1 and H7N9 strains of influenza A virus were analysed as well as domains of these proteins were determined. By the results of the research, polymorphism of the studied proteins of H1N1 and H7N9 strains of influenza A virus was revealed. The type and localization of mutations in amino acid regions was shown. Domains of the products of the studied amino acid sequences were determined. The effect of polymorphism of proteins on the formation of domains was shown. The specificity of the amino acid sequences of the studied proteins for H1N1 and H7N9 strains of influenza A virus was shown. Conservative and variable regions in the amino acid sequences of haemagglutinin, neuraminidase and nucleoprotein were revealed. It was shown that there were no studied proteins in H1N1 and H7N9 strains with identical compositions of their amino acid sequences. The possibility of identifying H1N1 and H7N9 strains of influenza A virus by the polymorphism of these proteins was determined. The absence of influence of polymorphism of amino acid sequences of haemagglutinin, neuraminidase and nucleoprotein H1N1 and H7N9 strains of influenza A virus on the domain composition of the above proteins was shown.

## Bibliography

1. Koçer Z. A., Krauss S., Zanin M., Danner A., Gulati S., Jones J. C., Friedman K., Graham A., Forrest H., Seiler J., Air G. M. and Webster R. G. (2015). Possible basis for the emergence of H1N1 viruses with pandemic potential from avian hosts. *Emerg Microbes Infect.* 4(7), e40.

2. Wang J., Li P., Yu Y., Fu Y., Jiang H., Lu M., Sun Z., Jiang S., Lu L. and Wu M. X. (2020). Pulmonary surfactant-biomimetic nanoparticles potentiate heterosubtypic influenza immunity. *Science*, 367(6480), eaau0810.
3. Kormuth K. A., Lin K., Qian Z., Myerburg M. M., Marr L. C. and Lakdawala S. S. (2019). Environmental Persistence of Influenza Viruses Is Dependent upon Virus Type and Host Origin. *mSphere*, 4(4), e00552-19.
4. Lafond K. E., Praptiningsih C. Y., Mangiri A., Syarif M., Triada R., Mulyadi E., Septiawati C., Setiawaty V., Samaan G., Storms A. D., Uyeki T. M. and Iuliano A. D. (2019). Seasonal Influenza and Avian Influenza A(H5N1) Virus Surveillance among Inpatients and Outpatients, East Jakarta, Indonesia, 2011-2014. *Emerg Infect Dis*, 25(11), 2031-2039.
5. Van de Sandt C. E., Kreijtz J. H., de Mutsert G., Geelhoed-Mieras M. M., Hillaire M. L., Vogelzang-van Trierum S. E., Osterhaus A. D., Fouchier R. A. and Rimmelzwaan G. F. (2014). Human cytotoxic T lymphocytes directed to seasonal influenza A viruses cross-react with the newly emerging H7N9 virus. *J Virol*, 88(3), 1684-93.
6. Venkatesh D., Poen M. J., Bestebroer T. M., Scheuer R. D., Vuong O., Chkhaidze M., Machabliashvili A., Mamuchadze J., Ninua L., Fedorova N. B., Halpin R. A., Lin X., Ransier A., Stockwell T. B., Wentworth D. E., Kriti D., Dutta J., van Bakel H., Puranik A., Slomka M. J., Essen S., Brown I. H., Fouchier R. A. M. and Lewis N. S. (2018). Avian Influenza Viruses in Wild Birds: Virus Evolution in a Multihost Ecosystem. *J Virol*, 92(15), e00433-18.
7. Mahardika G. N., Suartha N. I., Kencana G. A. Y., Suardana I. B. K., Mahardika W. W. and Budayanti N. S. (2019). Biochemistry and computer generated graph comparison of the structural and nonstructural proteins of Spanish-1918 Influenza, pandemic-2009 and bird flu viruses. *Acta Biochim Pol*, 66(3), 329-336.
8. Suttie A., Deng Y., Greenhill A. R., Dussart P., Horwood P. F. and Karlsson E. A. (2019). Inventory of molecular markers affecting biological characteristics of avian influenza A viruses. *Virus Genes*, 55(6), 739-768.
9. Ruan B. Y., Wen F., Gong X. Q., Liu X. M., Wang Q., Yu L. X., Wang S. Y., Zhang P., Yang H. M., Shan T. L., Zheng H., Zhou Y. J., Tong W., Gao F., Tong G. Z. and Yu H. (2018). Protective efficacy of a high-growth reassortant H1N1 influenza virus vaccine against the European Avian-like H1N1 swine influenza virus in mice and pigs. *Vet Microbiol*, 222, 75-84.
10. Allison B., Ballard J. R., Tesh R. B., Brown J. D., Ruder M. G., Keel M. K., Munk B. A., Mickley R. I. M., Gibbs S. E. J., Travassos da Rosa A. P. A., Ellis J. C., Ip H. S., Shearn-Bochsler V. I., Rogers M. B., Ghedin E., Holmes E. C., Parrish C. R., and C. Dwyerj (2015). Avian Mass Mortality in the Northeastern United States Is Associated with a Novel Orthomyxovirus. *J Virol*, 89(2), 1389-1403.

11. Chen H., Liu S., Liu J., Chai C., Mao H., Yu Z., Tang Y., Zhu G., Chen H. X., Zhu C., Shao H., Tan S., Wang Q., Bi Y., Zou Z., Liu G., Jin T., Jiang C., Gao G. F., Peiris M., Yu H. and Chen E. (2016). Nosocomial Co-Transmission of Avian Influenza A(H7N9) and A(H1N1) pdm09 Viruses between 2 Patients with Hematologic Disorders. *Emerg Infect Dis*, 22(4), 598-607.
12. Riegger D., Hai R., Dornfeld D., Mänz B., Leyva-Grado V., Sánchez-Aparicio M. T., Albrecht R. A., Palese P., Haller O., Schwemmler M., García-Sastre A., Kochs G. and Schmolke M. (2015). The nucleoprotein of newly emerged H7N9 influenza A virus harbors a unique motif conferring resistance to antiviral human MxA. *J Virol*. 89(4), 2241-52.
13. Ahn S. J., Baek Y. H., Lloren K. K. S., Choi W. S., Jeong J. H., Antigua K. J. C., Kwon H. I., Park S. J., Kim E. H., Kim Y. I., Si Y. J., Hong S. B., Shin K. S., Chun S., Choi Y. K. and Song M. S. (2019). Rapid and simple colorimetric detection of multiple influenza viruses infecting humans using a reverse transcriptional loop-mediated isothermal amplification (RT-LAMP) diagnostic platform. *BMC Infect Dis*, 19(1), 676.
14. Rijal P., Wang B. B., Tan T. K., Schimanski L., Janesch P., Dong T., McCauley J. W., Daniels R. S., Townsend A. R. and Huang K. A. (2020). Broadly Inhibiting Antineuraminidase Monoclonal Antibodies Induced by Trivalent Influenza Vaccine and H7N9 Infection in Humans. *J Virol*, 94(4), e01182-19.
15. National Centre of Biotechnology Information, [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)
16. Smith S. and Waterman M. Identification of Common Molecular Subsequences. (1981). *J. Mol. Biol.*, 147, 195-197
17. Boyoglu-Barnum S., Hutchinson G. B., Boyington J. C., Moin S. M., Gillespie R. A., Tsybovsky Y., Stephens T., Vaile J. R., Lederhofer J., Corbett K. S., Fisher B. E., Yassine H. M., Andrews S. F., Crank M. C., McDermott A. B., Mascola J. R., Graham B. S. and Kanekiyo M. (2020). Glycan repositioning of influenza haemagglutinin stem facilitates the elicitation of protective cross-group antibody responses. *Nat Commun*, 11(1), 791.
18. Hasan M. S., Wu X. and Zhang L. (2019). Uncovering missed indels by leveraging unmapped reads. *Sci Rep*, 9, 11093.
19. Wang C., Yu H., Horby P. W., Cao B., Wu P., Yang S., Gao H., Li H., Tsang T. K., Liao Q., Gao Z., Ip D. K. M., Jia H., Jiang H., Liu B., Ni M. Y., Dai X., Liu F., Kinoshita N., Liem N. T., Hien T. T., Li Y., Yang J., Wu J. T., Zheng Y., Leung G. M., Farrar J. J., Cowling B. J., Uyeki T. M., and Li L. (2014). Comparison of Patients Hospitalized With Influenza A Subtypes H7N9, H5N1, and 2009 Pandemic H1N1. *Clin Infect Dis*, 58(8), 1095-1103.
20. Wang J., Xu H., Yang X., Zhao D., Liu S., Sun X., Huang J. A. and Guo Q. (2017). Cardiac complications associated with the influenza viruses A

subtype H7N9 or pandemic H1N1 in critically ill patients under intensive care.  
*Braz J Infect Dis*, 21(1), 12-18.

**Information about the authors:**

**Buriachenko Semen Vasylovych,**

Postgraduate Student at the Department of Poultry Diseases,  
Laboratory of Viral Avian Diseases,  
National scientific center «Institute of Experimental  
and Clinical Veterinary Medicine»  
185, Lui Pastera str., Kharkiv, 61138, Ukraine

**Stegniy Boris Tymofiiiovych,**

Doctor of Veterinary Sciences,  
Professor at the Department of Poultry Diseases,  
Academician of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,  
Director  
National scientific center «Institute of Experimental  
and Clinical Veterinary Medicine»  
83, Pushkinska str., Kharkiv, 61023, Ukraine



## PEGYLATED ANTIMICROBIALS

Vlizlo V. V., Zelenina O. M., Kozak M. R.

### INTRODUCTION

Today, there is a need for development of new technologies to create highly effective and safe antibacterial agents for the body. Medicines that were effective a few years ago are losing their positions, and their use is limited. According to the World Health Organization, the rapid increase of microorganisms' resistance to antibiotics over the past 50 years is one of the most important health threats of the 21st century<sup>1 2 3</sup>.

Over the last decade, the development of nanotechnology and innovative approaches to the creation of new highly effective antibacterial drugs speedily progressed<sup>4 5 6</sup>.

The most promising technology for the development of medicinal forms of antibacterial drugs is the creation of compounds with nanopolymers that perform the function of antibiotic carrier. The development of such polymers that would provide protection of antibiotics from adverse environmental conditions, stabilize their transportation to organs and tissues, and slow down destruction and removal from the body are topical<sup>7 8 9</sup>. At the same time, it is important that the created new antibacterial agents have good penetration into

---

<sup>1</sup> Munita J.M., Arias C.A. Mechanisms of Antibiotic Resistance. *Microbiol Spectr.* 2016. Vol.4, №2. P. 10. DOI: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.VMBF>.

<sup>2</sup> Padiyara P., Inoue H., Sprenger M. Global Governance Mechanisms to Address Antimicrobial Resistance. *Infectious Diseases.* 2018. Vol.11. P. 11. DOI: <https://doi.org/10.1177/1178633718767887>.

<sup>3</sup> International cooperation to improve access to and sustain effectiveness of antimicrobials / C. Ardal et al. *Lancet.* 2016. Vol.387. P. 296–307. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00470-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00470-5).

<sup>4</sup> Hemeg H. A. Nanomaterials for alternative antibacterial therapy. *International journal of nanomedicine.* 2017. Vol. 12. P. 8211–8225. DOI:<https://doi.org/10.2147/IJN.S132163>.

<sup>5</sup> Nanobiotics against antimicrobial resistance: harnessing the power of nanoscale materials and technologies / N. Chakraborty et al. *Journal of nanobiotechnology.* 2022. №20. P. 375. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01573-9>.

<sup>6</sup> Gupta A., Landis R. F., Rotello V. M. Nanoparticle-Based Antimicrobials: Surface Functionality is Critical. *F1000Research.* 2016. Vol.5. P.364. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.7595.1>.

<sup>7</sup> Chen D. Wei-Chin Chen, Liu Shih-Jung. Nanofibers used for delivery of antimicrobial agents. *Nanomedicine (Lond).* 2015. № 10. P. 1959–1971.

<sup>8</sup> Polyphosphate Ester-Type Transporters Improve Antimicrobial Properties of Oxytetracycline / M. Kozak et al. *Antibiotics (Basel, Switzerland).* 2023. №12. P. 616. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030616>.

<sup>9</sup> Martinho N., Damg e C., Reis C.P. Recent advances in drug delivery systems. *J. Biomater. Nanobiotechnol.* 2011. Vol. 2, №5. P. 510–526. DOI: <https://doi.org/10.4236/jbnb.2011.225062>.

the foci of the pathological process, which would contribute to the acceleration of recovery<sup>10</sup>. Ensuring the effectiveness of the targeted delivery of drugs leads to an increase of their concentration only in the affected area, minimizing the overall toxic effect on the body<sup>11</sup>.

Therefore, the search for new antibiotics should be aimed at the development of drugs that have a changed molecular structure and purposefully act against the bacterial cells. The connection of antibiotic with a carrier for targeted transportation to the affected areas should provide the best possible experience for the treatment of patients.

## 1. PEGylation of drugs

Polymeric nanocarriers are one of the most promising, as they possess a number of specific physicochemical and biological properties that ensure their biocompatibility, biodegradability, the possibility of additional functionalization by special bioelements necessary for the delivery of pharmaceuticals in the body<sup>12 13</sup>.

Pharmaceutical forms, in which the active substance is conjugated with a polymer carrier, have lower toxicity, improved pharmacokinetic parameters and higher efficiency of therapeutic action<sup>14 15</sup>.

Polyethylene glycol (PEG) is the most promising carrier among polymers. It serves as an effective steric stabilizer for various dispersions, causing physicochemical transformation of the native molecule<sup>16</sup>.

PEG is an ethylene oxide polymer with two terminal hydroxyl groups. The molecular weight of PEG can vary between 300 and 4000 Da, and

---

<sup>10</sup> Radomska A., Leszczyszyn J., Radomski M. W. The Nanopharmacology and Nanotoxicology of Nanomaterials: New Opportunities and Challenges. *Advances in clinical and experimental medicine : official organ Wroclaw Medical University*. 2016. Vol. 25, № 1. P. 151–162. DOI: <https://doi.org/10.17219/acem/60879>.

<sup>11</sup> Characteristics of novel polyme rbased on pseudopolyamino acids GluLa-DPG-PEG600: binding of albumin, biocompatibility, biodistribution and potential crossing the blood-brain barrier in rats / B. O. Chekh et al. *The Ukrainian Biochemical Journal*. 2017. Vol. 89, № 4. P. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.15407/ubj89.04.013>.

<sup>12</sup> Kozak M., Mitina N., Zaichenko A., Vlizlo V. Anionic Polyelectrolyte Hydrogel as an Adjuvant for Vaccine Development. *Scientia Pharmaceutica*. 2000. Vol. 88, № 4. P. 56. DOI: <https://doi.org/10.3390/scipharm88040056>.

<sup>13</sup> Synthesis and Properties of Phosphorus-Containing Pseudo-Poly(Amino Acid)s of Polyester Type Based on N-Derivatives of Glutamic Acid /A. Stasiuk et al. *Chemistry & Chemical Technology*. 2022. Vol. 16, № 1. P. 51–58. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht16.01.051>.

<sup>14</sup> An influence of complexes of therapeutic antisense oligodeoxynucleotides with cationic polymers on cell respiration / M.R. Kozak et al. *Biopolym. Cell*. 2021. Vol 37, № 5. P. 357-368. DOI: <http://dx.doi.org/10.7124/bc.000A61>.

<sup>15</sup> Preparation and research of properties of combined alginate/gelatin hydrogels /M.M. Bukartyk et al. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2022. Vol. 30, № 1. P. 11-20.

<sup>16</sup> Фосфорновмісні поліестеретери похідних двоосновних природних α-амінокислот та поліетиленгліколів: патент на корисну модель 02108 Україна. 2021.

macromolecules built in a chain form both branched and linear stereochemical structures. The molecular weight of PEG and its stereochemical structure, as a rule, determine the basic properties of the future drug<sup>17</sup>. Polyethylene glycol as a drug carrier was first proposed for use in 1990. A characteristic feature of PEG is its good solubility in water. This is explained by the fact that the structure of hydrogen bonds in water does not change after the introduction of PEG, due to geometric similarity<sup>18 19</sup>. At the same time, it facilitates overcoming of the cellular lipid membrane. PEG is biodegradable and biocompatible because it does not form toxic metabolites. PEG is also commercially available<sup>20</sup>. The process of connecting the native drug molecule with PEG is called PEGylation<sup>21</sup>. PEGylation is one of the most successful ways to improve drug delivery<sup>22</sup>.

PEGylation of drugs promotes their protection against aggregation, opsonization and phagocytosis, extending the time of circulation in the body. An increase of the therapeutic effect of drugs is ensured due to better solubility of insoluble compounds in water and the accumulation of the drug in the target area<sup>23</sup>. At the same time, the toxic effect on the body is minimal<sup>24 25 26</sup>.

PEGylation increases the size and molecular weight of conjugated biomolecules, increases their pharmacokinetics, pharmacodynamics, protection from enzymatic degradation, reduces the clearance in the kidneys,

---

<sup>17</sup> Yadav D., Dewangan H. K. PEGYLATION: an important approach for novel drug delivery system. *Journal of biomaterials science. Polymer edition*. 2021. Vol.32, №2. P. 266–280. DOI: <https://doi.org/10.1080/09205063.2020.1825304>.

<sup>18</sup> On the origin of the extremely different solubilities of polyethers in water /B. Ensing et al. *Nature communications*. 2019. № 10. P. 2893. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10783-z>.

<sup>19</sup> Lentz B. R. PEG as a tool to gain insight into membrane fusion. *European biophysics journal : EBJ*. 2007. Vol. 36. № 4-5. P. 315–326. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00249-006-0097-z>.

<sup>20</sup> Mozar F.S., Chowdhury E.H. Impact of PEGylated Nanoparticles on Tumor Targeted Drug Delivery. *Current Pharmaceutical Design*. 2018. Vol. 24, № 28. P. 3283-3296. DOI: <https://doi.org/10.2174/13816128246661807301617211>.

<sup>21</sup> Zhang X., Wang H., Ma Z., Wu B. Effects of pharmaceutical PEGylation on drug metabolism and its clinical concerns. *Expert opinion on drug metabolism & toxicology*. 2014. №10. P.1691–1702. DOI: <https://doi.org/10.1517/17425255.2014.967679>.

<sup>22</sup> Kanikkannan N. Technologies to Improve the Solubility, Dissolution and Bioavailability of Poorly Soluble Drugs. *J Anal Pharm Res*. 2018. Vol. 7, № 1. P. 44-50. DOI: <https://doi.org/10.15406/japlr.2018.07.00198>.

<sup>23</sup> PEGylation as a strategy for improving nanoparticle-based drug and gene delivery / J. S. Suk et al. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2016. Vol.99. Pt. A. P. 28-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2015.09.012>.

<sup>24</sup> Гематологічні показники щурів за введення енрофлоксацину у складі полімеру / О. М. Зеленина та ін. *Біологія тварин*. 2020. Т. 22, № 1. С. 26-30.

<sup>25</sup> Зеленина О.М., Влізлю В.В. Кількість тромбоцитів крові тварин та їх індекси за введення різних форм антибіотика енрофлоксацину. *Міжнародна наукова конференція «Єдине здоров'я-2022»*. Київ, 2022. С. 65-66.

<sup>26</sup> Зеленина О. М., Влізлю В. В. Стан антиоксидантної системи у щурів за введення пегельованого енрофлоксацину. *Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні епідемічні виклики в концепції «Єдине здоров'я», Тернопіль, 2021. С. 23.*

and limits immunogenic and antigenic reactions. The kidneys filter substances based on molecular size. Therefore, PEGylated molecules, which have a higher molecular weight and a larger hydrodynamic radius than the parent molecule, are excreted much more slowly. This reduced speed increases the half-life of PEGylated molecules *in vivo*<sup>27 28</sup>.

PEGylated nanocarriers are attracting more and more attention due to the prolongation of circulation time in the body compared to free drugs. Accordingly, PEGylation of drugs increases their biological activity. This technology prolongs the period of «effective» half-life of the drug. PEGylation inhibits rapid drug release, reduces its allergenicity, toxicity and immunogenicity. Thereby, this new approach significantly increases the efficiency of patient treating<sup>29</sup>.

One of the key challenges in drug delivery is the intracellular transport of drugs. This process is complicated by several factors: non-specificity of carriers or their inability to penetrate through the cell membrane; lysosomal hydrolysis of drugs (peptides, nucleic acids) that penetrated through the endocytic pathway. The solution to this problem is the use of so-called cell-penetrating peptides, first discovered in the human immunodeficiency virus. These peptides are able to transfer molecules of hydrophilic drugs attached to them through the cell membrane via peptide transduction. To avoid lysosomal destruction of cell-penetrating peptides, their covalent coupling with PEG molecules is possible, which shield them from binding to the cell membrane through the hydrazone residue. Hydrazone at pH values 5.0–6.0 is destroyed, thereby freeing the CPP (cell penetrating peptides) molecule from the PEG «screen» and enabling it to interact with the cell membrane. The controlled intracellular transport of drugs becomes possible<sup>30 31</sup>.

---

<sup>27</sup> Milla P., Dosio F., Cattel L. PEGylation of proteins and liposomes: a powerful and flexible strategy to improve the drug delivery. *Current drug metabolism*. 2012. Vol. 13, № 1. P. 105–119. <https://doi.org/10.2174/138920012798356934>.

<sup>28</sup> Pegylated oleic acid: A promising amphiphilic polymer for nano-antibiotic delivery / C. A. Omolo et al. *European journal of pharmaceuticals and biopharmaceutics: official journal of Arbeitsgemeinschaft für Pharmazeutische Verfahrenstechnik*. 2017. Vol. 112. P. 96–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2016.11.022>.

<sup>29</sup> Facile Separation of PEGylated Liposomes Enabled by Anti-PEG scFv / W. Tang et al. *Nano Lett.* 2021. Vol. 21, № 23. P. 10107–10113. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.1c03946>.

<sup>30</sup> Bareford L. M., Swaan P. W. Endocytic mechanisms for targeted drug delivery. *Advanced drug delivery reviews*. 2007. Vol. 59, № 8. P. 748–758. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2007.06.008>.

<sup>31</sup> Torchilin V. P. Tat peptide-mediated intracellular delivery of pharmaceutical nanocarriers. *Advanced drug delivery reviews*. 2008. Vol. 60, № 4-5. P. 548–558.

## 2. Creation of PEGylated antibacterial preparations

Pharmaceutical nanotechnologies open up new opportunities for chemotherapy of infectious diseases. The ability of nanoparticles to deliver antibiotics to target cells, as well as to the foci of infection, allows increasing their efficiency and selectivity of action. Natural and synthetic polymers are used to form nanoscale carriers<sup>32, 33</sup>.

Polymer conjugates of antibiotics provide decreased toxicity, increased solubility and prolonged activity of drugs<sup>34</sup>. Antibiotics can either be incorporated into nanoparticles during the polymerization process, or be bound covalently to the surface of nanoparticles after their formation. Numerous experiments have shown that the inclusion of various antibiotics in polymer nanoparticles leads to an increase in their specific activity. Consequently, polymers are effective tools for optimizing both the pharmacokinetics and pharmacodynamics of antibacterial drugs.

Antimicrobial peptides (AMPs) have therapeutic potential for localized infections. The introduction of PEGylated AMPs into the respiratory tract minimizes lung tissue toxicity while maintaining antimicrobial activity. PEGylation may be a tool of improving the pulmonary biocompatibility of AMPs intended for the treatment of pulmonary infections<sup>35</sup>. At the same time, oral administration of antibiotics with PEG improves their effect against pathogenic microorganisms<sup>36</sup>.

The use of PEGylated antibacterial drugs based on nanogel showed low cytotoxicity and high bactericidal activity against gram-negative *E. coli* and *P. aeruginosa* and gram-positive *S. mutans* and *S. aureus* bacteria<sup>37</sup>. PEGylation has been established to improve the effectiveness of antibiotics

---

<sup>32</sup> Kozak, M., Stasiuk, A., Vlizlo, V., Ostapiv, D., Bodnar Y., Kuzmina, N., Figurka, N., Nosova, N., Ostapiv, R., Kotumbas, I., Varvarenko, S., & Samaryk V. Antimicrobial Action of Oxytetracycline in the Composition of Polyphosphate Ester Type Transporter that was presented at ICEID. Atlanta, Georgia, USA, 2022. P. 274.

<sup>33</sup> Nanomaterials-Based Combinatorial Therapy as a Strategy to Combat Antibiotic Resistance / A. León-Buitimea et al. *Antibiotics (Basel)*. 2022. Vol.11, № 6. P.794. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11060794>

<sup>34</sup> Polymer-drug conjugates, PDEPT and PELT: basic principles for design and transfer from the laboratory to clinic / R. Duncan et al. *Journal of controlled release: official journal of the Controlled Release Society*. 2001. Vol. 74, № 1–3. P. 135–146. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0168-3659\(01\)00328-5](https://doi.org/10.1016/s0168-3659(01)00328-5).

<sup>35</sup> Morris C.J. Pegylation of antimicrobial peptides maintains the active peptide conformation, model membrane interactions, and antimicrobial activity while improving lung tissue biocompatibility following airway delivery. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2012. Vol. 56, № 6. P. 3298–3308. DOI: <https://doi.org/10.1128/AAC.06335-11>.

<sup>36</sup> Influence of PEGylated porous silicon nanoparticles on permeation and efflux of an orally administered antibiotic / A. Raza et al. *Materials Today Advances*. 2022. Vol. 13. P. 100–210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2022.100210>.

<sup>37</sup> Optimization of Cationic Nanogel PEGylation to Achieve Mammalian Cytocompatibility with Limited Loss of Gram-Negative Bactericidal Activity / G. Joann et al. *Biomacromolecules*. 2020. Vol. 21, № 4. P. 1528–1538. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00081>.

used to treat infected wounds, preventing antibiotic resistance against the most common pathogenic microflora<sup>38 39</sup>.

Polymer conjugates with antibiotics show high activity against bacterial biofilms<sup>40</sup>. Biofilms are often impervious to antibiotics, which is a major cause of poor wound healing. Healing prognosis for wounds infected by biofilm-forming antibiotic resistant bacteria was worse than for infected by methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), methicillin-resistant *S. epidermidis* (MRSE), and multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* (MDR-PA). Resistance interferes with initial treatment using standard antibiotics. Antibiotic resistance of MRSA, MRSE, and MDR-PA often results in acute infections developing into chronic wound infections. The water-soluble hydrophilic properties of low molecular weight (600 Da) branched polyethylenimine (600 Da BPEI) allow easy drug delivery and use in the environment as a topical agent for wound treatment. BPEI 600 Da was modified by polyethylene glycol to mitigate the toxicity issue. PEG-BPEI molecules reduce  $\beta$ -lactam resistance in MRSA, MRSE and MDR-PA bacteria and have the ability to dissolve established bacterial biofilms<sup>41</sup>.

PEGylation can improve the effectiveness of antibiotics against resistant isolates of *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* isolated from patients<sup>42</sup>.

The obtained nanoscale aqueous systems of conjugates of PEG-containing oligomeric carriers with the antibiotic chloramphenicol showed their high efficiency<sup>43</sup>. Levomycetin, immobilized on a PEG carrier, showed a high antimicrobial effect against microorganisms that were resistant to the action of free levomycetin. PEG-containing oligomer synthesized on the basis of

---

<sup>38</sup> PEGylation of Polyethylenimine Lowers Acute Toxicity while Retaining Anti-Biofilm and  $\beta$ -Lactam Potentiation Properties against Antibiotic-Resistant Pathogens / A.K. Lam et al. *ACS Omega*. 2020. Vol.5, №40. P.26262–26270. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04111>.

<sup>39</sup> Терапія післяопераційних ран армованими пов'язками на основі пектину та їх протимікробна дія / В. Влізло та ін. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій. Сер. Ветеринарні науки*. 2021. Т.23, №104. С. 41-46. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet10407>.

<sup>40</sup> Spellberg B. Trends in antimicrobial drug development: implications for the future. *Clinical infectious diseases*. 2004. Vol. 38, №9. P.1279–1286. DOI: <https://doi.org/10.1086/420937>.

<sup>41</sup> PEGylation of Polyethylenimine Lowers Acute Toxicity while Retaining Anti-Biofilm and  $\beta$ -Lactam Potentiation Properties against Antibiotic-Resistant Pathogens / A. K. Lam et al. *ACS omega*. 2020. Vol.5, №40. P. 26262–26270. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04111>.

<sup>42</sup> Dual-Function Potentiation by PEG-BPEI Restores Activity of Carbapenems and Penicillins against Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae / H. Panlilio et al. *ACS Infect. Dis*. 2021. Vol.7, №6. P.1657–1665. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsinfectdis.0c00863>

<sup>43</sup> Bhattacharya S., Sen D., Bhattacharjee C. *In vitro* antibacterial effect analysis of stabilized PEGylated allucin-containing extract from *Allium sativum* in conjugation with other antibiotics. *Process Biochemistry*. 2019. Vol. 87. P. 221–231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.09.025>.

oligoperoxide with side epoxy groups is water-soluble. It is a surface-active substance capable of immobilizing the water-insoluble antibiotic chloramphenicol and forming nano-sized aqueous systems for its targeted delivery, which provide increased antimicrobial activity of the drug<sup>44</sup>.

The study of antibacterial activity and cytotoxicity of PEGylated antibiotics of the group of aminoglycosides (gentamicin, kanamycin and neomycin) showed that their activity was decreased with an increase in the content of polyethylene glycol in these compounds. Thus, a ratio of aminoglycoside to PEG of 1 to 1 had significantly higher antimicrobial activity compared to compounds in which the ratio was 1 to 2. This decrease of antibacterial activity was found to be most prominent in the gram-positive bacteria *S. aureus*. On the other hand, PEGylation significantly reduced the cytotoxicity of antibiotics<sup>45</sup>.

Nanoparticles made from two different polymers, namely poly(D,L-lactico-glycolic acid (PLGA) and methoxypoly(ethylene glycol)-b-poly(lactico-glycolic acid) (mPEG-PLGA). They were used to increase the efficiency of delivery of the antibiotic ofloxacin. Ofloxacin-mPEG-PLGA nanoparticles showed higher antibacterial activity. They also showed effective bacterial absorption, delayed release from the body, compared to free ofloxacin. PEGylation increased the permeability of the bacterial membrane, allowing mPEG-PLGA nanoparticles to accumulate inside the cells to a greater extent than pure PLGA nanoparticles. This nanoformulation also slowed the development of bacterial resistance compared to the free drug. It was found that the PEG-PLGA compound improved antibacterial activity compared to free ofloxacin. At the same time, pathogenic strains (*E. coli*, *P. aeruginosa*, *Proteus vulgaris*, *Salmonella typhimurium*, *Klebsiella pneumoniae* and *S. aureus*) were also more sensitive to PEGylated ofloxacin compared to its «pure» form<sup>46</sup>.

The antibiotic ciprofloxacin was covalently attached to the chain end of poly(2-methyloxazoline) (PMOx), poly(2-ethyloxazoline) (PEtOx) and polyethylene glycol. The antimicrobial activity of these conjugates was tested against *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus mutans*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Klebsiella pneumoniae*. It was found that the

---

<sup>44</sup> Нові поліетиленглікольовмісні олігомерні носії для доставки лікарських засобів / А.О. Рябцева. *Хімічні Каразинські читання – 2011*: зб. тез доп. III всеукраїнської наук. конф. студентів та аспірантів (Харків, 18-21 квітня 2011р.). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2011. С. 115.

<sup>45</sup> Evaluation of antimicrobial activity and cytotoxicity of pegylated aminoglycosides / Z. Ahmadiet al. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*. 2018. Vol. 33, №3. P. 295–309. DOI:<https://doi.org/10.1177/0883911517739318>.

<sup>46</sup> Marslin G. PEGylated ofloxacin nanoparticles render strong antibacterial activity against many clinically important human pathogens. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 2015. Vol. 132. P. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.04.050>.

antimicrobial activity of the conjugates increases in the order  $\text{PMO}_x < \text{PEtO}_x < \text{PEG}$ <sup>47</sup>.

Improvement of the therapeutic potential of the antibiotic ciprofloxacin was achieved by encapsulation in polyethylene glycol-coated long-circulating sustained-release liposomes. The use of ciprofloxacin in liposomal form with PEG led to its delayed clearance and increased long-term concentration in blood and tissues. The therapeutic effectiveness of PEGylated liposomal ciprofloxacin against *Pseudomonas aeruginosa* has been proven<sup>48</sup>.

A good antibacterial effect of tobramycin was shown against gram-negative bacteria, in particular *E. coli*, if the antibiotic was used in combination with PEG<sup>49</sup>. PEGylation of the antibiotic tobramycin led to improved antimicrobial activity against *Pseudomonas aeruginosa* compared to «pure» tobramycin<sup>50</sup>.

### 3. Antimicrobial properties of PEGylated antibiotic enrofloxacin

The antibiotic enrofloxacin belongs to the third generation of fluoroquinolones, its use is effective in many types of antibiotic therapy. This antimicrobial preparation originates from 4-quinolone and contains a piperazine cycle and a fluorine atom, the presence of which significantly expands the spectrum of the antibacterial action. However, there is a concern about the emergence of enrofloxacin-resistant strains of bacteria, and therefore a negative effect may develop from its excessive use<sup>51</sup>. In addition, enrofloxacin is poorly soluble in water<sup>52</sup>. Therefore, it creates difficulties in obtaining optimal doses of the dissolved form and limits the bioavailability of the substance. It is hygroscopic and has a bitter taste, which additionally

---

<sup>47</sup> Conjugation of Ciprofloxacin with Poly(2-oxazoline)s and Polyethylene Glycol via End Groups / M. Schmidt et al. *Bioconjugate chemistry*. 2015. Vol. 26, № 9. P. 1950–1962. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.bioconjchem.5b00393>.

<sup>48</sup> Bakker-Woudenberg I.A. Improved efficacy of ciprofloxacin administered in polyethylene glycol-coated liposomes for treatment of *Klebsiella pneumoniae pneumonia* in rats. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2001. Vol. 45, № 5. P. 1487–1492. DOI: <https://doi.org/10.1128/AAC.45.5.1487-1492.2001>.

<sup>49</sup> Jegatheeswaran S., Sundrarajan M. PEGylation of novel hydroxyapatite/PEG/Ag nanocomposite particles to improve its antibacterial efficacy. *Materials science & engineering C Materials for biological applications*. 2015. Vol. 51. P. 174–181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.02.012>.

<sup>50</sup> PEGylation of Tobramycin Improves Mucus Penetration and Antimicrobial Activity against *Pseudomonas aeruginosa* Biofilms *in Vitro* / T. F. Bahamondez-Canas et al. *Molecular pharmaceutics*. 2018. Vol. 15, № 4. P. 1643–1652. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.8b00011>.

<sup>51</sup> Zinc(II) complexes of the second-generation quinolone antibacterial drug enrofloxacin: Structure and DNA or albumin interaction / A. Tarushi et al. *Bioorganic & medicinal chemistry*. 2010. Vol. 18, № 7. P. 2678–2685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2010.02.021>.

<sup>52</sup> Troughon T., Lefebvre S. A Review of Enrofloxacin for Veterinary Use. *Open Journal of Veterinary Medicine*. 2016. Vol. 6, № 2. P. 40-58. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojvm.2016.62006>.



complicates the oral route of administration of the antibiotic enrofloxacin. In addition, it was established that enrofloxacin can cause a cytotoxic effect on the body<sup>53</sup>. It is indicated that some fluoroquinolone compounds have more specific antimicrobial activity than the pure substance<sup>54</sup>. Therefore, the search for new compounds of the antibiotic enrofloxacin with improved characteristics is urgent.

In particular, a polymer of polyethylene glycol with a molecular weight of 400 Da was synthesized. This polymer was named PEG-400<sup>55</sup>. The antibiotic enrofloxacin with a purity of 99.5%<sup>56</sup> was used for the formation of the PEGylated antibiotic enrofloxacin. During the synthesis of the PEGylated antibiotic enrofloxacin, the authors took into account the fact that the molecule of the antibiotic enrofloxacin contains reactive carboxyl groups in its structure. The molecules of the antibiotic enrofloxacin were attached<sup>57</sup> to the ends of the PEG-400 polyoxyethylene hydrophilic chain. High-performance liquid chromatography has shown that the purity of the PEGylated antibiotic enrofloxacin is 98–99%<sup>58</sup>.

The synthesized model compound of enrofloxacin with PEG-400, which are covalently connected to each other, showed high antibacterial activity<sup>59</sup> <sup>60</sup>.

This is explained by the fact that PEG is able to affect the permeability of membranes, increasing the absorption of the antibacterial drug by cells<sup>55</sup>.

Conducted studies of the antimicrobial activity of the PEGylated antibiotic enrofloxacin and the traditional antibiotic enrofloxacin showed the difference in their effect on reference museum strains of microorganisms *Escherichia coli* ATCC 11105. Thus, the minimum inhibitory concentration (MIC) of traditional antibiotic enrofloxacin against *Escherichia coli* ATCC 11105 was

---

<sup>53</sup> Luan Y., Chen K., Zhao J., Cheng L. Comparative Study on Synergistic Toxicity of Enrofloxacin Combined with Three Antibiotics on Proliferation of THLE-2 Cell. *Antibiotics*. 2022. Vol. 11. P. 394. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11030394>.

<sup>54</sup> Synthesis and antitubercular activity of palladium and platinum complexes with fluoroquinolones / L. M. Vieira et al. *European journal of medicinal chemistry*. 2009. Vol. 44, №10. P. 4107–4111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2009.05.001>.

<sup>55</sup> Синтез і дослідження антибактеріальної активності пегільованих енрофлоксацинів / Дронь І. А. та ін. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування*. 2018. № 886. С. 47-51.

<sup>56</sup> PEGylation of antibiotic enrofloxacin and its effects on the state of the antioxidant system in rats / O. M. Zelenina et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11, № 1. P. 202-208.

<sup>57</sup> Спосіб посилення антимікробної дії енрофлоксацину: патент на корисну модель 152046 Україна. 2022.

<sup>58</sup> PEGylation of enrofloxacin reduces minimum inhibitory concentrations and hepatocytic effects in rats / V. Vlizlo et al. *Medical Biodefense Conference*. Munich, 2021. P.103-104.

<sup>59</sup> Antimicrobial activity of the PEGylated antibiotic enrofloxacin and its functional and structural effect on the liver in rats / O. M. Zelenina et al. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2022. Vol.12, № 6. P. 68–75.

<sup>60</sup> Chakrabarty B., Ghoshal A.K., Purkait M.K. Effect of molecular weight of PEG on membrane morphology and transport properties. *Journal of Membrane Scienc*. 2008. Vol. 309, №1-2. P. 209–221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.10.027>.

0.31 µg/ml. At the same time, the MIC of PEGylated antibiotic enrofloxacin against the museum reference strain of *Escherichia coli* ATCC 11105 was two-fold lower (0.15 µg/ml) than MIC of traditional antibiotic enrofloxacin. consequently, PEGylation of the antibiotic enrofloxacin leads to the improvement of its antimicrobial properties against *Escherichia coli*<sup>61</sup>.

The MIC of the antibiotic enrofloxacin both in the traditional substance and in the PEGylated forms against reference museum strains of microorganisms *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P was 0.31 µg/ml.

No differences were established between the minimum inhibitory concentration of the antibiotic enrofloxacin in the traditional substance and in the PEGylated form against field strains of gram-positive and gram-negative microorganisms.

Thus, the MIC level of the antibiotic enrofloxacin both in the traditional substance and in the PEGylated forms against *Staphylococcus epidermidis* was 1.0 µg/ml and 2.0 µg/ml against *Enterobacter*. The obtained results showed that the binding of PEG-400 to the antibiotic enrofloxacin, or the PEGylation of enrofloxacin, does not change the level of its bacteriostatic activity against field strains of gram-positive (*Staphylococcus epidermidis*) and gram-negative (*Enterobacter*) microorganisms<sup>59</sup>.

PEGylation of the antibiotic enrofloxacin increases the size and molecular weight of conjugated biomolecules, increases their solubility in water, protects against enzymatic degradation, leads to a decrease in hepatotoxicity and nephrotoxicity, limits immunogenic and antigenic reactions, does not affect hematopoiesis and hemostasis<sup>62 63 64</sup>.

## CONCLUSIONS

The synthesis of the enrofloxacin antibiotic with the PEG-400 polymer (PEGylation of the antibiotic enrofloxacin) showed improved antibacterial activity, which is associated with the ability of PEG to affect the permeability of membranes, ensuring the absorption of the active substance by cells.

---

<sup>61</sup> Зеленіна О.М., Влізло В.В. Вплив пегелювання антибіотика енрофлоксацину на його антимікробну активність. *Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: зб. матеріалів II Міжнар. наук.-практ. конф.наук.-педагог.працівників та молодих науковців* (Одеса, 08-09 грудня 2022 р.). Одеса, 2022. С. 96-99.

<sup>62</sup> Активність трансаміназ і вміст білірубину у крові шурів за введення антибіотика енрофлоксацину, ПЕГ-400 та їх комплексу / О. М. Зеленіна та ін. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. № 4.

<sup>63</sup> Зеленіна О. М. Пегелювання антибіотика енрофлоксацину та його вплив на активність індикаторних ензимів і структуру печінки. *Аграрний вісник Причорномор'я*: зб. наук. пр. Одеса:ОДАУ, 2021. С. 31-34.

<sup>64</sup> Функціональний стан нирок у тварин за застосування пегельованого антибіотика енрофлоксацину / О. М. Зеленіна та ін. *Сучасні методи діагностики, лікування та профілактики у ветеринарній медицині: тези доповідей II конференції* (18-19 листопада 2021 р., Одеса). Одеса, 2021. С. 56-57.

PEGylation of the antibiotic enrofloxacin increases the size and molecular weight of conjugated biomolecules, increases their water solubility and protection against enzymatic degradation, reduces hepatotoxicity and nephrotoxicity, limits immunogenic and antigenic reactions, and does not affect hematopoiesis and hemostasis.

## SUMMARY

Recently, bacterial strains resistant to the antibiotic enrofloxacin appeared which indicates the development of antibiotic resistance. Enrofloxacin is poorly soluble in water. This physical property creates difficulties in obtaining optimal doses of the dissolved form and limits the bioavailability of the substance. It is hygroscopic and has a bitter taste, which reduces the possibility of oral use. In addition, enrofloxacin can cause a cytotoxic effect on the body. Therefore, the search for new compounds and forms of the antibiotic enrofloxacin with improved characteristics is topical. PEGylation is one of the most successful ways to improve drug delivery. PEG is biodegradable and biocompatible, as it does not form toxic metabolites, and is commercially available. The development of a model compound of enrofloxacin with a PEG-400 polymer (PEGylation of the antibiotic enrofloxacin) by covalent connection showed improved antibacterial activity, which is associated with the ability of PEG to affect the permeability of membranes, ensuring the absorption of the active substance by cells. PEGylation of the antibiotic enrofloxacin increases the size and molecular weight of conjugated biomolecules, increases their water solubility and protection against enzymatic degradation, reduces hepatotoxicity and nephrotoxicity, limits immunogenic and antigenic reactions, does not affect hematopoiesis and hemostasis.

Consequently, The PEGylation of the antibiotic enrofloxacin helps to increase the therapeutic effect providing good solubility, increasing the accumulation of the active substance in the pathological area, and reducing the toxic effect on the body.

## Bibliography

1. Munita J.M., Arias C.A. Mechanisms of Antibiotic Resistance. *Microbiol Spectr.* 2016. Vol. 4, № 2. P. 10. DOI: <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.VMBF>.

2. Padiyara P., Inoue H., Sprenger M. Global Governance Mechanisms to Address Antimicrobial Resistance. *Infectious Diseases.* 2018. Vol. 11. P. 11. DOI: <https://doi.org/10.1177/1178633718767887>.

3. International cooperation to improve access to and sustain effectiveness of antimicrobials / C. Ardal et al. *Lancet.* 2016. Vol.387. P. 296–307. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00470-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00470-5).

4. Hemeg H. A. Nanomaterials for alternative antibacterial therapy. *International journal of nanomedicine*. 2017. Vol. 12. P. 8211–8225. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S132163>.

5. Nanobiotics against antimicrobial resistance: harnessing the power of nanoscale materials and technologies / N. Chakraborty et al. *Journal of nanobiotechnology*. 2022. № 20. P. 375. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01573-9>.

6. Gupta A., Landis R. F., Rotello V. M. Nanoparticle-Based Antimicrobials: Surface Functionality is Critical. *FI000Research*. 2016. Vol.5. P.364. DOI: <https://doi.org/10.12688/fi000research.7595.1>.

7. Chen D. Wei-Chin Chen, Liu Shih-Jung. Nanofibers used for delivery of antimicrobial agents. *Nanomedicine (Lond)*. 2015. № 10. P. 1959–1971.

8. Polyphosphate Ester-Type Transporters Improve Antimicrobial Properties of Oxytetracycline / M. Kozak et al. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*. 2023. № 12. P. 616. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030616>.

9. Martinho N., Damgé C., Reis C.P. Recent advances in drug delivery systems. *J. Biomater. Nanobiotechnol.* 2011.Vol. 2, № 5. P. 510–526. DOI: <https://doi.org/10.4236/jbnb.2011.225062>.

10. Radomska A., Leszczyszyn J., Radomski M. W. The Nanopharmacology and Nanotoxicology of Nanomaterials: New Opportunities and Challenges. *Advances in clinical and experimental medicine : official organ Wroclaw Medical University*. 2016.Vol. 25, № 1. P. 151–162. DOI: <https://doi.org/10.17219/acem/60879>.

11. Characteristics of novel polymeric based on pseudopolyamino acids GluLa-DPG-PEG600: binding of albumin, biocompatibility, biodistribution and potential crossing the blood-brain barrier in rats / B. O. Chekh et al. *The Ukrainian Biochemical Journal*. 2017. Vol.89, № 4. P. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.15407/ubj89.04.013>.

12. Kozak M., Mitina N., Zaichenko A., Vlizlo V. Anionic Polyelectrolyte Hydrogel as an Adjuvant for Vaccine Development. *Scientia Pharmaceutica*. 2000.Vol. 88, № 4. P. 56. DOI: <https://doi.org/10.3390/scipharm88040056>.

13. Synthesis and Properties of Phosphorus-Containing Pseudo-Poly(Amino Acid)s of Polyester Type Based on N-Derivatives of Glutaminic Acid /A. Stasiuk et al. *Chemistry & Chemical Technology*. 2022. Vol. 16, № 1. P. 51–58. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht16.01.051>.

14. An influence of complexes of therapeutic antisense oligodeoxynucleotides with cationic polymers on cell respiration / M.R. Kozak et al. *Biopolym. Cell*. 2021. Vol 37, № 5. P. 357-368. DOI: <http://dx.doi.org/10.7124/bc.000A61>.

15. Preparation and research of properties of combine dalginate /gelatinhy drogels / M.M. Bukartyk et al. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2022. Vol. 30, № 1. P. 11-20.

16. Фосфорновмісні поліестеретери похідних двоосновних природних  $\alpha$ -амінокислот та поліетиленгліколів: патент на корисну модель 02108 Україна. 2021.

17. Yadav D., Dewangan H. K. PEGYLATION: an important approach for novel drug delivery system. *Journal of biomaterials science. Polymer edition*. 2021. Vol. 32, № 2. P. 266–280. DOI: <https://doi.org/10.1080/09205063.2020.1825304>.

18. On the origin of the extremely different solubilities of polyethers in water /B. Ensing et al. *Nature communications*. 2019. № 10. P. 2893. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10783-z>.

19. Lentz B. R. PEG as a tool to gain insight into membrane fusion. *European biophysics journal : EBJ*. 2007. Vol. 36. №4-5. P. 315–326. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00249-006-0097-z>.

20. Mozar F.S., Chowdhury E.H. Impact of PEGylated Nanoparticles on Tumor Targeted Drug Delivery. *Current Pharmaceutical Design*. 2018. Vol. 24, № 28. P. 3283-3296. DOI: <https://doi.org/10.2174/13816128246661807301617211>.

21. Zhang X., Wang H., Ma Z., Wu B. Effects of pharmaceutical PEGylation on drug metabolism and its clinical concerns. *Expert opinion on drug metabolism & toxicology*. 2014. № 10. P. 1691–1702. DOI: <https://doi.org/10.1517/17425255.2014.967679>.

22. Kanikkannan N. Technologies to Improve the Solubility, Dissolution and Bioavailability of Poorly Soluble Drugs. *J Anal Pharm Res*. 2018. Vol. 7, №1. P.44-50. DOI: <https://doi.org/10.15406/japlr.2018.07.00198>.

23. PEGylation as a strategy for improving nanoparticle-based drug and gene delivery /J. S. Suk et al. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2016. Vol. 99. Pt. A. P.28-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2015.09.012>.

24. Гематологічні показники щурів за введення енрофлоксацину у складі полімеру / О. М Зеленіна та ін. *Біологія тварин*. 2020. Т. 22, № 1. С. 26-30.

25. Зеленіна О.М., Влізло В.В. Кількість тромбоцитів крові тварин та їх індекси за введення різних форм антибіотика енрофлоксацину. *Міжнародна наукова конференція «Єдине здоров'я-2022»*. Київ, 2022. С. 65-66.

26. Зеленіна О. М., Влізло В. В. Стан антиоксидантної системи у щурів за введення пегельованого енрофлоксацину. *Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні епідемічні виклики в концепції «Єдине здоров'я»*, Тернопіль, 2021. С. 23.

27. Milla P., Dosio F., Cattel L. PEGylation of proteins and liposomes: a powerful and flexible strategy to improve the drug delivery. *Current drug metabolism*. 2012. Vol. 13, № 1. P. 105–119. <https://doi.org/10.2174/138920012798356934>.

28. Pegylated oleic acid: A promising amphiphilic polymer for nano-antibiotic delivery /C. A. Omolo et al. *European journal of pharmaceutics and*

*biopharmaceutics:official journal of Arbeitsgemeinschaft für Pharmazeutische Verfahrenstechnike*. 2017. Vol. 112. P. 96–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2016.11.022>.

29. Facile Separation of PEGylated Liposomes Enabled by Anti-PEG scFv / W.Tang et al. *Nano Lett.* 2021. Vol. 21, № 23. P. 10107–10113. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.1c03946>.

30. Bareford L. M., Swaan P. W. Endocytic mechanisms for targeted drug delivery. *Advanced drug delivery reviews*. 2007. Vol. 59, № 8. P. 748–758. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2007.06.008>.

31. Torchilin V. P. Tat peptide-mediated intracellular delivery of pharmaceutical nanocarriers. *Advanced drug delivery reviews*. 2008. Vol. 60, № 4-5. P. 548–558.

32. Kozak, M., Stasiuk, A., Vlizlo, V., Ostapiv, D., Bodnar Y., Kuzmina, N., Figurka, N., Nosova, N., Ostapiv, R., Kotsumbas, I., Varvarenko, S., & Samaryk V. Antimicrobial Action of Oxytetracycline in the Composition of Polyphosphate Ester Type Transporter that was presented at ICEID. Atlanta, Georgia, USA, 2022. P. 274.

33. Nanomaterials-Based Combinatorial Therapy as a Strategy to Combat Antibiotic Resistance / A. León-Buitimea et al. *Antibiotics (Basel)*. 2022. Vol. 11, № 6. P. 794. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11060794>

34. Polymer-drug conjugates, PDEPT and PELT: basic principles for design and transfer from the laboratory to clinic / R. Duncan et al. *Journal of controlled release: official journal of the Controlled Release Society*. 2001. Vol. 74, №1–3. P. 135–146. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0168-3659\(01\)00328-5](https://doi.org/10.1016/s0168-3659(01)00328-5).

35. Morris C.J. PEGylation of antimicrobial peptides maintains the active peptide conformation, model membrane interactions, and antimicrobial activity while improving lung tissue biocompatibility following airway delivery. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2012. Vol. 56, № 6. P. 3298–3308. DOI: <https://doi.org/10.1128/AAC.06335-11>.

36. Influence of PEGylated porous silicon nanoparticles on permeation and efflux of an orally administered antibiotic / A. Raza et al. *Materials Today Advances*. 2022. Vol. 13. P. 100–210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2022.100210>.

37. Optimization of Cationic Nanogel PEGylation to Achieve Mammalian Cytocompatibility with Limited Loss of Gram-Negative Bactericidal Activity / G. Joann et al. *Biomacromolecules*. 2020. Vol. 21, №4. P. 1528–1538. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00081>.

38. PEGylation of Polyethylenimine Lowers Acute Toxicity while Retaining Anti-Biofilm and  $\beta$ -Lactam Potentiation Properties against Antibiotic-Resistant Pathogens / A.K. Lam et al. *ACS Omega*. 2020. Vol. 5, № 40. P. 26262–26270. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04111>.

39. Терапія післяопераційних ран армованими пов'язками на основі пектину та їх протимікробна дія / В. Влізло та ін. *Науковий вісник*

Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій. Сер. Ветеринарні науки. 2021. Т. 23, № 104. С. 41-46. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet10407>.

40. Spellberg B. Trends in antimicrobial drug development: implications for the future. *Clinical infectious diseases*. 2004. Vol. 38, № 9. P. 1279–1286. DOI: <https://doi.org/10.1086/420937>.

41. PEGylation of Polyethylenimine Lowers Acute Toxicity while Retaining Anti-Biofilm and  $\beta$ -Lactam Potentiation Properties against Antibiotic-Resistant Pathogens / A. K. Lam et al. *ACS omega*. 2020. Vol. 5, № 40. P. 26262–26270. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04111>.

42. Dual-Function Potentiation by PEG-BPEI Restores Activity of Carbapenems and Penicillins against Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae / H. Panlilio et al. *ACS Infect. Dis*. 2021. Vol. 7, № 6. P. 1657–1665. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsinfectdis.0c00863>.

43. Bhattacharya S., Sen D., Bhattacharjee C. *In vitro* antibacterial effect analysis of stabilized PEGylated allicin-containing extract from *Allium sativum* in conjugation with other antibiotics. *Process Biochemistry*. 2019. Vol. 87. P. 221–231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.09.025>.

44. Нові поліетиленглікольвмісні олігомерні носії для доставки лікарських засобів / А.О Рябцева . *Хімічні Каразінські читання – 2011: зб. тез доп. III всеукраїнської наук. конф. студентів та аспірантів (Харків, 18-21 квітня 2011 р.)*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2011. С. 115.

45. Evaluation of antimicrobial activity and cytotoxicity of pegylated aminoglycosides / Z. Ahmadiet al. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*. 2018. Vol. 33, № 3. P. 295–309. DOI: <https://doi.org/10.1177/0883911517739318>.

46. Marslin G. PEGylated ofloxacin nanoparticles render strong antibacterial activity against many clinically important human pathogens. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 2015. Vol. 132. P. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.04.050>.

47. Conjugation of Ciprofloxacin with Poly(2-oxazoline)s and Polyethylene Glycol via End Groups / M. Schmidt et al. *Bioconjugate chemistry*. 2015. Vol. 26, № 9. P. 1950–1962. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.bioconjchem.5b00393>.

48. Bakker-Woudenberg I.A. Improved efficacy of ciprofloxacin administered in polyethylene glycol-coated liposomes for treatment of *Klebsiella pneumoniae pneumonia* in rats. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2001. Vol. 45, № 5. P. 1487–1492. DOI: <https://doi.org/10.1128/AAC.45.5.1487-1492.2001>.

49. Jegatheeswaran S., Sundrarajan M. PEGylation of novel hydroxyapatite/PEG/Ag nanocomposite particles to improve its antibacterial efficacy. *Materials science & engineerin C Materials for biological applications*. 2015. Vol. 51. P. 174–181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.02.012>.

50. PEGylation of Tobramycin Improves Mucus Penetration and Antimicrobial Activity against *Pseudomonas aeruginosa* Biofilms *in Vitro* / T. F. Bahamondez-Canas et al. *Molecular pharmaceuticals*. 2018. Vol. 15, № 4. P.1643–1652. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.8b00011>.

51. Zinc(II) complexes of the second-generation quinolone antibacterial drug enrofloxacin: Structure and DNA or albumin interaction /A. Tarushi et al. *Bioorganic & medicinal chemistry*. 2010. Vol. 18, № 7. P. 2678–2685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2010.02.021>.

52. Troughon T., Lefebvre S. A Review of Enrofloxacin for Veterinary Use. *Open Journal of Veterinary Medicine*. 2016. Vol. 6, № 2. P. 40-58. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojvm.2016.62006>.

53. Luan Y., Chen K., Zhao J., Cheng L. Comparative Study on Synergistic Toxicity of Enrofloxacin Combined with Three Antibiotics on Proliferation of THLE-2 Cell. *Antibiotics*. 2022.Vol. 11. P. 394. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11030394>.

54. Synthesis and antitubercular activity of palladium and platinum complexes with fluoroquinolones / L. M. Vieira et al. *European journal of medicinal chemistry*. 2009. Vol. 44, № 10. P. 4107–4111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2009.05.001>.

55. Синтез і дослідження антибактеріальної активності пегільованих енрофлоксацинів / Дронь І. А. та ін. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2018. № 886. С. 47-51.

56. PEGylation of antibiotic enrofloxacin and its effects on the state of the antioxidant system in rats / O. M. Zelenina et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11, № 1. P. 202-208.

57. Спосіб посилення антимікробної дії енрофлоксацину: патент на корисну модель 152046 Україна. 2022.

58. PEGylation of enrofloxacin reduces minimum inhibitory concentrations and hepatotoxic effects in rats / V. Vlizlo et al. *Medical Biodefense Conference*. Munich, 2021. P. 103-104.

59. Antimicrobial activity of the PEGylated antibiotic enrofloxacin and its functional and structural effect on the liver in rats / O. M. Zelenina et al. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2022. Vol. 12, № 6. P. 68–75.

60. Chakrabarty B., Ghoshal A.K., Purkait M.K. Effect of molecular weight of PEG on membrane morphology and transport properties. *Journal of Membrane Scienc*. 2008. Vol. 309, № 1-2. P. 209–221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.10.027>.

61. Зеленина О.М., Влізло В.В. Вплив пегелювання антибіотика енрофлоксацину на його антимікробну активність. *Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: зб. матеріалів II Міжнар. наук.-практ. конф.наук.-педагог.працівників та молодих науковців* ( Одеса, 08-09 грудня 2022 р.). Одеса, 2022. С. 96-99.



62. Активність трансаміназ і вміст білірубину у крові шурів за введення антибіотика енрофлоксацину, ПЕГ-400 та їх комплексу / О. М. Зеленіна та ін. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. № 4.

63. Зеленіна О. М. Пегельовання антибіотика енрофлоксацину та його вплив на активність індикаторних ензимів і структуру печінки. *Аграрний вісник Причорномор'я*: зб. наук. пр. Одеса: ОДАУ, 2021. С. 31-34.

64. Функціональний стан нирок у тварин за застосування пегельованого антибіотика енрофлоксацину / О. М. Зеленіна та ін. *Сучасні методи діагностики, лікування та профілактики у ветеринарній медицині*: тези доповідей II конференції (18-19 листопада 2021 р., Одеса). Одеса, 2021. С. 56-57.

#### **Information about the authors:**

**Vlizo Vasyl Vasylovych,**

Doctor of Veterinary Sciences, Professor,  
Academician of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,  
Professor at the Department of internal animal diseases  
and clinical diagnostics  
Stepan Gzhyskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Zelenina Oksana Mykhailivna,**

Doctor of Philosophy in Biology,  
Associate Professor at the Department of Physiology, pathophysiology  
and biochemistry  
Odesa State Agrarian University  
13, Panteleimonivska str., Odesa, 65012, Ukraine

**Kozak Mariya Romanivna,**

Doctor of Philosophy in Biology  
Senior Researcher at the Laboratory of molecular biology  
and clinical biochemistry,  
Institute of Animal Biology of the National Academy  
of Agrarian Sciences of Ukraine  
38, Vasylia Stusa str., Lviv, 79034, Ukraine

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРОБІОТИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ БДЖІЛ

Ковальчук І. І., Андрошулік Р. Л.

### ВСТУП

В останні роки увагу вчених і практиків все більше привертають біологічні кормові добавки, що застосовуються для стимулювання життєдіяльності бджіл, підвищення їх імунітету, стійкості до стресових факторів, а також профілактики і лікування захворювань. Як відомо, для активного росту сім'ї, вирощування достатньої кількості розплоду бджолам необхідний пилок, як джерело білка. Проте, кишечник комах не здатний розщеплювати білкові речовини до вільних амінокислот, що живлять гемолімфу. У зв'язку з цим особливого значення набуває використання у весняній підгодівлі бджіл пробіотиків.

Пробіотики – це живі штами мікроорганізмів, які продуктами своєї життєдіяльності оптимізують наявний у ньому кількісний і якісний склад мікробіоти та виявляють стимулюючий вплив на її метаболічну активність. Протягом ряду років існувало декілька трактувань терміну «пробіотик». Уперше використали цей термін для позначення метаболітів, що продукують одні мікроорганізми для стимуляції росту інших<sup>1</sup>. Як відомо, поняття «пробіотик» було запропоновано Річардом Паркером для позначення живих мікроорганізмів і продуктів їхньої ферментації, які антагоністично активні до патогенної мікрофлори. Інші дослідники вважали, що при введенні в організм хазяїна пробіотики спричиняють добрий ефект за рахунок корекції кишкової мікрофлори. Gibson і Roberfroid<sup>2</sup>, називають пробіотиками живі мікроорганізми, що повинні бути присутніми у великій кількості, залишатися стабільними та життєздатними як при збереженні, так і після уведення до організму; повинні адаптуватися в організмі хазяїна та впливати на його здоров'я.

Незважаючи на різноманітні формулювання поняття «пробіотики», більшість дослідників називають ним лікарські засоби, що містять як діючу речовину певні штами мікрофлори здорового організму. Відомо, що бактерії, які у нормі заселяють слизові, чинять антагоністичну дію стосовно патогенної й умовно-патогенної мікрофлори, забезпечують вітамінно-утворюючу та ферментативну функції. Існують різні форми

---

<sup>1</sup> Fuller R. History and development of probiotics. *Probiotics. The scientific basis*. London: Chepment and Hall, 1992. P. 1–9 [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-2364-8\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-2364-8_1)

<sup>2</sup> Handbook of Prebiotics Edited By Glenn R. Gibson, Marcel Roberfroid. 2008, 504. <https://doi.org/10.1201/9780849381829>

випуску пробіотиків, способи та схеми їх застосування. Більшість пробіотиків призначена для лікування та профілактики дисбактеріозів, одиничні – для санації травного тракту<sup>3</sup>.

Встановлена систематизація пробіотиків за комплексністю дії препаратів, за поколіннями, родовим складом мікробіоти та формах випуску, представляє практичний інтерес з наукового підходу у виборі пробіотичних штамів для потреб бджільництва. Проаналізовані літературні дані щодо застосування препаратів, які відносяться до фармакологічної групи пробіотиків, вказують на можливість використання їх з метою профілактики низки захворювань та оздоровлення бджіл.

### **1. Сучасні досягнення та виклики щодо застосування пробіотиків**

Пробіотики – це живі організми, які вживаються з метою зміни кишкової мікробіоти<sup>4</sup>. Збільшуючи кількість корисних мікробів і зменшуючи кількість патогенних видів, пробіотики можуть допомогти запобігти або лікувати дисбактеріоз мікрофауни в результаті захворювання або прийому антибіотиків. Розробка нових кормових добавок з використанням живих культур мікроорганізмів, так званих пробіотичних продуктів, спрямована на забезпечення фізіологічних потреб організму в біологічно активних речовин<sup>5</sup>

Як відомо, пробіотичні мікробні препарати, що представляють собою культури мікроорганізмів, володіють антагоністичною активністю до патогенної мікрофлори. Цінність цих препаратів в тому, що вони безпечні для довкілля, тварин, птахів, комах і людини. Варто зазначити, що пробіотики сприяють розвитку корисної мікрофлори не тільки в шлунково-кишковому тракті тварин, птахів, комах, а й в ґрунті. До пробіотиків не відбувається звикання, вони нешкідливі в концентраціях, що багаторазово перевищують рекомендовані норми. Після попадання в шлунково-кишковий тракт пробіотики надають як пряму дію на патогенну і умовно-патогенну мікрофлору, так і опосередковано – шляхом активації специфічних і неспецифічних систем захисту організму. У той же час пробіотичні бактерії активно продукують ферменти, амінокислоти, вітаміни та інші біологічно активні речовини, що доповнюють комплексну лікувально-профілактичну дію. Володіючи

---

<sup>3</sup> Production of functional probiotic, prebiotic and synbiotic ice creams / T. Di Criscio, A. Fratianni, R. Mignogna et al. *J. Dairy Sci.* 2010. Vol. 93, N 10. P. 4555–4564

<sup>4</sup> Hamdi, C.; Balloi, A.; Essanaa, J.; Crotti, E.; Gonella, E.; Raddadi, N.; Ricci, I.; Boudabous, A.; Borin, S.; Manino, A. Gut microbiome dysbiosis and honeybee health. *J. Appl. Entomol.* 2011. 135. 524–533

<sup>5</sup> Anadyn A., Martnez-Larranaga M. Probiotics for animal nutrition in the European Union. Regulation and Safety Assessment. *Regulatory Toxicology Pharmacology*. 2006. 45, 91-95

антагоністичною дією стосовно патогенної мікрофлори, вони спричиняють підвищення стійкості до захворювань<sup>678</sup>.

Особливої уваги заслуговують результати дослідження щодо мікроорганізмів: *Bacillus subtilis*, *B.cereus*, *Lactobacillus acidophilus*, *L.delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *L.plantarum*, *L.fermentum*, *L.salivarius*, *L.casei*, *L.rhamnosus*, *L.reuteri*, *Bifidobacterium bifidum*, *B.longum*, *B.adolescentis*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecium*, дріжджі роду *Saccharomyces*. Більшість дослідників вважають, що доцільніше у складі пробіотиків застосовувати живі культури мікроорганізмів, використовувати біфідобактерії і молочнокислі бактерії, в т.ч. лактобактерії. Крім того, лактобактеріям і біфідобактеріям властива висока здатність до колонізації епітелію стінки травного тракту, що служить захисним бар'єром на шляху проникнення патогенної мікрофлори і забезпечує стабілізацію нормального складу мікробіоценозу кишечника<sup>91011</sup>

Увагу дослідників привертають спороутворюючі бактерії роду *Bacillus*, представники екзогенної мікрофлори. Широкого спектру досліджень зазнають бактерії цього роду, як терапевтичні засоби, за умов гострих чи хронічних інфекцій: *D.cereus*, *B.polymyxa*, *B.coagulans*, *B.brevis*, *B.megaterium*, *B.pulmilus*, *B.laterosporus*. Найбільше досліджено *B. Subtilis B.licheniformis*. Вони є одними з домінуючих видів мікроорганізмів і виконують комплекс корисних для макроорганізму функцій, найважливішою з яких є здатність запобігати колонізації кишечника патогенами. Аеробні бацили постійно потрапляють з навколишнього середовища, а тривалість їх перебування в кишечнику здебільшого визначається, з одного боку, генетичними особливостями штамів бацил, з іншого – патологічними процесами в організмі господаря. Механізм дії препаратів із живих мікробних культур здебільшого зумовлений наявністю в пробіотичних штамів цілої низки

---

<sup>6</sup> Fetissov S.O. Role of the gut microbiota in host appetite control: bacterial growth to animal feeding behaviour. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2017. 13(1), 11–25.

<sup>7</sup> Thaiss C.A, Zmora N., Levy M., Elinav E. The microbiome and innate immunity. *Nature* 2016. 535(7610), 65–74

<sup>8</sup> Teitelbaum J.E., Walker W.A. Nutritional impact of pre- and probiotics as protective gastrointestinal organisms. *Annu Rev Nutr* 2002. 22, 107–138

<sup>9</sup> Коцюмбас І.Я., Жила М.І., Шкіль М.І. Пробиотики – необхідна складова при сучасних технологіях вирощування тварин *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З.Гжецького.* 2013. 15(3,57), 174-181

<sup>10</sup> Lactobacillus and Bifidobacterium influence on the indices of immune influence on the indices of immune response of the organism showed on 136 experimental model / М. Ya. Spivak, V. S. Pidgorsky, L. M. Lazarenko [et al.] // *Microbiology and Biotechnology.* 2009. 1 (5), P. 39–46.

<sup>11</sup> Імуномодельовальна активність пробіотичних штамів лакто- та біфідобактерій in vitro та in vivo / [Лазаренко Л.М., Мокрозуб В.В., Бабенко Л.П. та ін.]. *Тези доповідей XIII з'їзду Товариства мікробіологів ім. С.М. Виноградського.* 2013, 278.

корисних для макроорганізму властивостей, зокрема здатності до продукування різноманітних біологічно активних сполук<sup>121314</sup>.

Пробіотична активність є суто штамовою ознакою. Різні штами, в тому числі одного виду, здійснюють на організм тільки притаманний їм пробіотичний ефект. На відміну від біфідобактерій і лактобацил, які тривало персистують в макроорганізмі з утворенням біоплівки, бактерії роду *Bacillus* не колонізують слизові оболонки. Разом з тим вони регулярно потрапляють у травний тракт із зовнішнього середовища і діють на макроорганізм переважно в період надходження: чинять антагоністичну дію на патогенні й умовнопатогенні мікроорганізми, беруть участь у процесах травлення завдяки ферментативній активності, чинять позитивний вплив на макроорганізми, продукуючи різноманітні біологічно активні речовини. Для штамів цього роду характерні висока стійкість до несприятливих умов зовнішнього середовища, висока ферментативна та антагоністична активність щодо патогенних і умовнопатогенних мікроорганізмів. При цьому вони є продуцентами біологічно активних речовин і характеризуються тим, що не викликають розвиток патологічного стану у людей. Вищезазначене обумовлює перспективність використання цих бактерій в якості основи для розробки лікувально-профілактичних препаратів.

## 2. Використання пробіотиків у підгодівлі бджолиних сімей

Особливий інтерес представляє включення пробіотиків до складу стимулюючих підгодівель, важливою особливістю яких є здатність підвищувати проти інфекційну стійкість організму і активізувати функціональні здатності бджолиних сімей без виникнення звикання і накопичення патогенних мікроорганізмів і різних речовин, включаючи токсичні, що надходять в організм з поживними речовинами в бджолопродуктах. Годівля колоній медоносних бджіл ендогенною кишковою бактерією *Bacillus subtilis*, зменшувала кількість спор *Nosema* spp. впродовж восьмимісячного дослідження<sup>15</sup>.

Після потраплення в кишечник пробіотики проявляють як пряму дію на патогенну і умовно патогенну мікрофлору, так і опосередковану –

---

<sup>12</sup> Spivak M.Ya., Pidgorskyi V.S., Lazarenko L.M. Lactobacillus and Bifidobacterium influence the indices of immune response of the organism showed on experimental model. *Microbiology and Biotechnology*. 2009. 1(5), 39–46.

<sup>13</sup> Starovoitova S. Cholesteraze activity of new lacto- and bifidobacteria stains in vitro. *Науковий вісник Ужгород. нац. університету*. 2010. 27. 1–4.

<sup>14</sup> Starovoitova S.A. Cholesterol-lowering activity of lactic acid bacteria probiotic strains in vivo. *Microbiologichny zhurnal*. 2012. 74 (3), 78–85

<sup>15</sup> Sabaté D.C., Cruz M.S., Benítez-Ahrendts M.R., Audisio M.C. Beneficial effects of *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* Mori2, a honey-associated strain, on honeybee colony performance. *Probiot. Antimicrob. Proteins* 2012, 4, 39–46.

шляхом активації специфічних і неспецифічних систем захисту організму. У той же час пробіотичні бактерії активно продукують ферменти, амінокислоти, вітаміни та інші біологічно активні речовини, що доповнюють комплексну лікувально-профілактичну дію. Володіючи антагоністичною дією стосовно до патогенної мікрофлори, вони сприяють підвищенню стійкості бджіл до захворювань<sup>16</sup>. Відомо, що застосування деяких пробіотиків позитивно впливало на ріст перетрофічної мембрани у середній кишці. За умови підгодівлі бджіл кормом з наявністю великої кількості бактерій, товщина перетрофічної мембрани значно збільшується, що свідчить про активну її роль у захисті організму від проникнення бактерій<sup>17</sup>.

Застосування концентрату молочнокислих бактерій (мікробна маса живих бактерій антагоністично активного штаму *Lactobacillus plantarum* 8P-A3. Серія 061211, продуцент «Плантарум») приводить до збільшення тривалості життя навесні на 9,5%. За цих умов зменшується маса ректумів із неперетравленими рештками на 18,03%, проте змін у масі молочка в комірках із личинками та в масі трьох добових личинок не виявлено<sup>18</sup>.

Пробіотик для лікування бактеріальних захворювань бджіл «Апінормін», до складу якого входять штами мікроорганізмів, виділені з кишечника здорових бджіл: *Lactobacillus plantarum*, *Bifidobacterium bifidum*, *Enterococcus faecium*, вважають адаптованим до їх організму. Як діючі речовини для пробіотика «Апінормін» використовують штами мікроорганізмів, виділених з мікробіому здорових бджіл<sup>19</sup>.

Згодовування бджолиним сім'ям комплексного амінокислотно-вітамінного препарату «Мікрорітам» з пробіотиком «Апінік» сприяє кращому росту бджолиної сім'ї у несприятливі періоди і покращує підготовку її до головного медозбору<sup>20</sup>. Під впливом пробіотиків Вітом нормалізуються мікрофлора кишечника, кислотність середовища,

---

<sup>16</sup> Мізерницький О.О., Переста М.М. Біологія бджіл та ефективність препарату «Ентеронормін» з «Йодіс+Se». Ексклюзивні ТЕХНОЛОГІЇ. URL: [http:// agrotimete.com.ua](http://agrotimete.com.ua)

<sup>17</sup> Szymas B., Landowska A., Kazimierzczak M. Histological structure of the Midgut of honey bees ( *Apis Mellifera*L.) Feed Pollen Substitutes Fortified with Probiotics. *Journal of Apicultural Science*. 2012. 56(1), 5–12.

<sup>18</sup> Гуцол А.В., Ковальський Ю.В., Ковальська Л.М., Гуцол Н.В. Вплив пробіотиків на ріст, розвиток і господарсько-корисні ознаки медоносних бджіл *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького*. 2017. 19(74), 235-238

<sup>19</sup> Постоечко В.О., Нікітіна Л.М., Жолобак Н.М., Засекін Д.А., Єфіменко Т.М., Постоечко Г.В. Вплив пробіотика «Апінормін» та наноцерію на показники тривалості життя бджіл у лабораторних умовах *Бджільництво України*. 2022, 9, 92-98

<sup>20</sup> Рязанова О.П., Скрипник С.В. Вплив пробіотичних препаратів на розвиток бджолиних сімей у весняний період. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2022. 2(49), 54-60

травлення, а також пригнічуються ріст та розмноження патогенної та умовно-патогенної мікрофлори, тому їй допомагають відновленню та нормалізації виснаженої мікрофлори кишечника бджіл за зимовий період. Експериментально підтверджено вплив пробіотика «Емпробіо» на основі молочнокислих бактерій на тривалість життя робочих бджіл<sup>21</sup>. У бджільництві для усунення негативних наслідків зимівлі часто використовують різні підгодівлі з включенням до них пробіотиків, мінеральних елементів, стимуляторів та вітамінів, що впливають на мікрофлору травного тракту<sup>22</sup>. Найбільшу поширеність набули пробіотики: бактерії *Bacillus subtilis*, *Bifidobacterium* та *Bacillus amyloliquefaciens*<sup>23</sup>. У весняний період найчастіше застосовуються стимулюючі підгодівлі у вигляді цукрово-медового тіста (канді) з додаванням пробіотичних препаратів.

Дослідження Hasan A et al., 2022, показали значне збільшення довжини тіла робочої бджоли за використання у органічних кислот та пробіотиків у підгодівлі бджіл<sup>24</sup>. Введення пробіотиків Enterobiotics та Enterolactis Plus впливає на розвиток воскових залоз, збільшуючи їх у діаметрі на 7,17-16,33%, що в подальшому сприяло підвищеному виробництву воску<sup>25</sup>. Дослідження довели, що пробіотики не тільки відновлюють дисфункцію травлення, але й мають вплив на інгібування патогенної бактеріальної колонізації та покращення імунітету бджоли. Пробіотики мають властивість створення стабільного та відповідного бактеріального середовища у кишечнику бджіл<sup>26</sup>. Пробіотичні підгодівлі допомагають відновленню і нормалізації виснаженої мікрофлори кишківника бджіл за зимовий період. Дослідження впливу двох типів

---

<sup>21</sup> Ullah A., Shahzad M. F., Iqbal J., Baloch M. S. Nutritional effects of supplementary diets on brood development, biological activities and honey production of *Apis mellifera* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021. 28(12), 6861–6868. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.07.067

<sup>22</sup> Alberoni D., Baffoni L., Gaggia F., Ryan P., Murphy K., Ross P., Stanton C. Impact of beneficial bacteria supplementation on the gut microbiota, colony development and productivity of *Apis mellifera* L. *Benef Microbes*. 2018. 9, 269-278

<sup>23</sup> Zaslavskaya, N. S., Sverchkova, N. V., Romanovskaya, T. V., Titok, M. A., Kolomiets, E. I., Potapovich, M. I., Prokulevich, V. A.. Construction of sporulating bacterial strain of genus *Bacillus* – the basis of novel probiotic for poultry farming. *5-th Congress of European Microbiologists (FEMS 2013), Leipzig, Germany*, July 21–25, 2013, 25-26

<sup>24</sup> Hasan A., Qazi J. I., Muzaffer N., Jabeen S., Hussain A. Effect of organic acids and probiotics on growth of *Apis mellifera* workers. *Pakistan Journal of Zoology*. 2022. 1–7, 54, 6, 2577–2583 doi: 10.17582/journal.pjz/20210803100802

<sup>25</sup> Patruica S., Dumitrescu G., Popescu R., Marioara Nicoleta F. (2013). The effect of prebiotic and probiotic products used in feed to stimulate the bee colony (*Apis mellifera*) on intestines of working bees. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2013. 11(3–4), 2461-2464.

<sup>26</sup> Kaznowski, A., Szymas, B., Jazdzinska, E., Kazimierczak, M., Paetz, H., Mokracka, J. The effects of probiotic supplementation on the content of intestinal microflora and chemical composition of worker honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of Apicultural Research*. 2005. 44, 1, 10-14. doi: 10.1080/00218839.2005.11101139

пробіотичних кормових добавок різного складу на якісні показники зимівлі бджіл показали, що використання восени Spasi Pchel та Pchelo Normosil сприяло кращій підготовці бджіл до зимівлі, підвищувало ступінь розвитку жирового тіла та тривалість життя бджіл і відповідно зростала кількість вирощеного розплуду навесні. Проведені випробування пробіотичного препарату апінік, який рекомендується застосовувати відразу після зимівлі для витіснення гнильної мікрофлори, показали, що бджолині сім'ї відрізнялися вищою активністю та життєздатністю і виростили на 30-35% більше молодих бджіл. Пробіотик апінік допомагає подолати дисбактеріоз, що настає після застосування антибіотиків та тимолу, якщо згодувувати його через три-чотири дні після закінчення лікування цими препаратами. Пробіотичні препарати у весняний період краще впливають на життєдіяльність бджолиних сімей, ніж при підгодівлі цукровим сиропом. Пробіотики, на відміну від антибіотиків, пригнічуючи розвиток патогенних та умовно-патогенних бактерій, не мають негативного впливу на нормальну мікрофлору кишечника.

### 3. Особливості системи травлення бджіл та склад мікробіоти

Слід зазначити, що увага до застосування пробіотиків здебільшого пояснюється постійно зростаючою кількістю доказів взаємодії мікробіоти та патофізіологічних процесів в організмі<sup>27</sup>. Як і для багатьох видів тварин, здоров'я медоносних бджіл залежить від кишкової мікробіоти. Відомо, що мікробіота кишківника бджоли регулює імунну систему та захищає від патогенних захворювань, а порушення нормальної мікробіоти призводить до збільшення смертності<sup>28, 29</sup>.

Важлива роль, яку кишкові мікроорганізми відіграють у функціонуванні травної системи, а також у загальному здоров'ї та імунитеті медоносних бджіл, може стати засобом для боротьби з інфекціями *N. Ceranae*. Мікробіота кишечника медоносної бджоли складається з великої різноманітності бактерій, включаючи численні молочнокислі бактерії (LAB) у межах роду *Lactobacillus*, а також бактерії роду *Bifidobacterium*<sup>30</sup>. Мікробіота кишечника захищає

---

<sup>27</sup> Liberti J.; Engel P. The gut microbiota–brain axis of insects. *Curr. Opin. Insect Sci.* 2020. 39, 6–13

<sup>28</sup> Motta EVS, Moran NA. Impact of Glyphosate on the Honey Bee Gut Microbiota: Effects of Intensity, Duration, and Timing of Exposure. *mSystems.* 2020. 28, 5(4), 268-288. doi: 10.1128/mSystems.00268-20.

<sup>29</sup> Rokop Z.P., Horton M.A., Newton I.L. Interactions between cooccurring lactic acid bacteria in honey bee hives. *Appl. Environ. Microbiol.* 2015. 81, 7261–7270. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4579437/>

<sup>30</sup> Corby-Harris V.; Maes P.; Anderson K.E. The bacterial communities associated with honey bee foragers. *PLoS ONE* 2014. 9, e95056. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0095056>



медоносних бджіл від патогенної інфекції, знижуючи рН, конкуруючи з патогенами за поживні речовини та простір, а також виробляючи органічні кислоти, антимікробні пептиди (АМП)<sup>31</sup>.

Кишкова мікрофлора дорослих бджіл переважно формується з початком її вильоту з вулика за рахунок мікрофлори медоносних рослин, з якими комахи щодня контактують, питної води. У молодих бджіл цей процес проходить виключно за рахунок їжі, яку вони отримують від годувальниць і безпосереднього контакту з дорослими особинами, а також мікрофлори води. Мікробний фон кишкового тракту медоносної бджоли становлять ентеробактерії, молочнокислі бактерії, стафілококи, ентерококи, псевдомонади, стрептококи, дріжджові гриби. Цей фон мікроорганізмів визначається місцем розташування пасіки, і в різні місяці року має неоднаковий кількісний показник<sup>32</sup>.

Для життєдіяльності бджіл симбіотна мікрофлора кишечника має важливе значення не тільки для процесу травлення, але і проявляє антагоністичну активність проти патогенних мікроорганізмів, бере участь у функціонуванні імунної системи організму бджоли загалом<sup>33</sup>.

Інтенсивність живлення бджолиної сім'ї змінюється протягом року залежно від умов медозбору та клімату. Найбільше корму витрачається в літні місяці, коли у вулику багато розплоду. Взимку сім'я живиться переважно медом. Травна система бджоли виконує функцію перетравлення їжі та усмоктування поживних речовин, резервуара для тимчасового зберігання нектару, меду і води.

Нормальна мікрофлора кишечника є першим бар'єром, що захищає від патогенних мікроорганізмів і різних речовин, включаючи токсичні, що надходять в організм з поживними компонентами. Слід зазначити, що середня кишка – це шлунок бджоли, в якому перетравлюється корм і всмоктуються поживні речовини. Стінки її мускулисті, складчасті, а всередині вкриті шаром епітеліальних клітин<sup>34</sup>. Нерівна поверхня епітелію та поперечні складки його збільшують площу кишки з поживними речовинами. Епітелій середньої кишки неоднорідний: у передній частині переважають процеси секреції, а в задній всмоктування. Виділювані ферменти змішуються з їжею і розщеплюють

---

<sup>31</sup> Anderson K.E., Sheehan T.H., Mott B.M., Maes P., Snyder L., Schwan M.R., Walton A., Jones B.M., Corby-Harris V. Microbial ecology of the hive and pollination landscape: Bacterial associates from floral nectar, the alimentary tract and stored food of honey bees (*Apis mellifera*). *PLoS ONE* 2013, 8, e83125.

<sup>32</sup> Переста М.М., Бойко Н.В., Броварський В.Д., Галатюк О.Є., Мельниченко В.М. та інші Окремі аспекти патогенетичних особливостей бджолиного мору <https://pasika.news/okremi-aspekty-patogenechnyh-osoblyvostej-bdzholyonogo-moru/>

<sup>33</sup> Переста М.М., Бойко Н.В., Броварський В.Д., Галатюк О.Є., Мельниченко В.М. та інші Концепція бджолиного мору <https://pasika.news/konczepczija-bdzholyonogo-moru>

<sup>34</sup> Kwong W.K., Medina L. A. et al. Dynamic microbiome evolution in social bees. *Sci Adv.* 2017, 3(3):e1600513. doi:10.1126/sciadv.1600513

складні речовини на прості. У середній кишці діють такі ферменти: протеаза, амілаза, інвертаза і ліпаза. У процесі травлення утворюються речовини, які здатні проходити крізь стінки кишечника. Потрапляючи в гемолімфу, вони розносяться по всьому тілу і використовуються в організмі для синтезу нових сполук<sup>35</sup>. За цих умов утворюються також нові клітини, продукція у вигляді воску, молочка тощо. Значна частина корму після розщеплення перетворюється на теплову і механічну енергію, особливо за посиленої льотної активності. Вміст середньої кишки огортають перитрофічні мембрани, які захищають клітини епітелію від пошкоджень та сприяють кращому перетравленню їжі.

Задній відділ травного каналу складається з тонкої і товстої кишок. Стінки тонкої кишки вбирають воду з решток корму, який переміщується у товсту кишку. Неперетравлені рештки збираються в товстій кишці<sup>36</sup>.

Всі екскременти вони утримують до очисного вильоту. Залежно від кількості їх об'єм кишки змінюється і вона стає найбільшою наприкінці зими (займає майже всю порожнину черевця). Стінки її еластичні, мають складчасту будову. Внутрішня поверхня кишки вкрита хітиною оболонкою, крізь яку може проникати вода. Навколо анального отвору розташовані мускули, які регулюють дефекацію. У передній частині товстої кишки у вигляді поздовжніх смуг розміщуються шість ректальних залоз. Їхні клітини характеризуються високою фізіологічною активністю і виділяють каталазу. Цей фермент змішується з каловими масами і стримує утворення шкідливих для організму речовин. Чим активніші ректальні залози, тим краще бджоли перезимовують. Висока активність каталази властива таким породам, що формувались у суворих умовах з тривалими зимами, коли бджоли довго не вилітають з гнізд. Цим пояснюється неоднакова зимостійкість, наприклад, італійських бджіл на території нашої країни. Розвитку шкідливих мікроорганізмів у калових масах товстої кишки бджіл запобігає кисле середовище, яке утворюється внаслідок окислення глюкози до глюконової кислоти. Необхідний для цього процесу кисень надходить у товсту кишку по трахеях, що пронизують стінки кишки. По них же випаровується всмоктана з незасвоєних решток вода, що призводить до згущення їх. Інтенсивність випаровування залежить від температури й вологості повітря в бджолиному гнізді. Кисле середовище у травному каналі бджоли має велике значення не тільки для тривалої зимівлі. Кислоти запобігають розвитку збудника нозематозу, що паразитує в клітинах

---

<sup>35</sup> Johnson K.S. Oxygen levels in the gut lumens of herbivorous insects. *J. Insect Physiol.* 2000. 46, 897–903

<sup>36</sup> Engel P., Stepanauskas R., Moran N.A. Hidden diversity in honey bee gut symbionts detected by single-cell genomics. *PLoS. Genet.* 2014. 10, e1004596

епітелію середньої кишки. Тому з профілактичною метою при підгодівлі сімей взимку до сиропу додають оцтову кислоту<sup>37</sup>.

Як відомо, кишкові бактерії бджіл та їх багатий пишком раціон є відомими чинниками здоров'я медоносних бджіл. Розуміння функцій різних бактерій може характеризувати здоров'я колонії бджіл в цілому.

Кишкова мікрофлора дорослих бджіл переважно формується з початком їх льотної діяльності за рахунок мікрофлори медоносних рослин, з якими ці комахи щодня контактують та води. У молодих бджіл джерелом потрапляння мікроорганізмів є виключно корм, який вони отримують від годувальниць, і безпосередній контакт з дорослими особинами, а також мікрофлора води і повітря гнізда<sup>38</sup>. Кишкова мікробіота – це сукупність бактерій, які заселяють шлунково-кишковий тракт. Кишкова мікробіота та її активні метаболіти беруть участь у кишковому глюконеогенезі, у гомеостазі жирів і впливають на регуляцію апетиту. Найважливішими метаболітами кишкової мікробіоти є коротколанцюгові жирні кислоти<sup>39</sup>.

У життєдіяльності бджіл симбіотична мікрофлора кишечника має важливе значення не тільки для процесу травлення, але й проявляє антагоністичну активність проти патогенних мікроорганізмів, бере участь у функціонуванні імунної системи організму загалом. Хоча молекулярний механізм дії пробіотиків ще повністю не з'ясовані, їх модуляція кишкової мікробіоти, вироблення антибактеріальних речовин, покращення бар'єрної функції епітелію та зменшення кишкового запалення вже добре відомі.

Окрім того, в багатьох країнах ЄС законодавчо заборонено використання антибіотиків у бджільництві через ризики поширення антимікробних генів для здоров'я людей і медоносних бджіл. Тому спостерігається тенденція до використання нових ефективних засобів боротьби з хворобами та покращення здоров'я медоносних бджіл, натурального походження, які допомагають уникнути багатьох побічних

---

<sup>37</sup> Engel P., Bartlett K.D., Moran N.A. The bacterium *Frischella perrara* causes scab formation in the gut of its honeybee host. *mBio*. 2015. 6, e00193–15

<sup>38</sup> Zheng H., Powell J.E., Steele M.I., Dietrich C., Moran N.A. Honeybee gut microbiota promotes host weight gain via bacterial metabolism and hormonal signaling. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2017. 114, 4775–4780.

<sup>39</sup> Khan MJ, Gerasimidis K, Edwards CA, Shaikh MG. Role of Gut Microbiota in the Etiology of Obesity: Proposed Mechanisms and Review of the Literature. *J Obes*. 2016, 7353642. PMID: 27703805. PMCID: PMC5040794. doi: 10.1155/2016/7353642

ефектів, оскільки механізми їх дії відрізняються від синтетичних за рахунок активації захисних реакції організму на фізіологічному рівні<sup>4041</sup>.

#### **4. Вплив різних доз пробіотика *Lactobacillus casei* B-7280 на життєздатність бджіл**

Відомо, що пробіотичний штам *Lactobacillus casei* B-7280 із антибактеріальними, протизапальними та імуномодулювальними властивостями є перспективним для розробки нових препаратів пробіотиків. За різних експериментальних інфекційно-запальних моделей (стафілококової та кандидозної інфекції), а також за патологічного стану організму штам B-7280 характеризувався ефективною лікувальною дією. Фізіологічний вплив цього пробіотика пов'язаний з нормалізацією мікробіоти різних біотопів організму і ліквідацією запальної реакції.

Відзначено також вибірково позитивний вплив цього пробіотика на фактори вродженого імунітету, його клітинну ланку імунітету та цитокіновий профіль<sup>42</sup>.

Проаналізовані літературні дані про обґрунтованість та доцільність застосування препаратів, які відносяться до фармакологічної групи пробіотиків, вказують на можливість використання їх з метою профілактики низки захворювань та оздоровлення бджіл. Встановлена систематизація пробіотиків за комплексністю дії препаратів, за поколіннями, родовим складом мікробіоти та формах випуску, представляє практичний інтерес з наукового підходу у виборі пробіотичних штамів для потреб бджільництва. Після надходження в шлунково-кишковий тракт пробіотики проявляють як пряму дію на патогенну і умовно патогенну мікрофлору, так і опосередковану – шляхом активації специфічних і неспецифічних систем захисту організму.

Встановлено, що пробіотик на основі штаму B-7280 забезпечував підвищення резистентності бджіл, покращував перебіг мікробіологічних процесів. Застосування пробіотика B-7280 позитивно впливало на чисельність та продуктивність бджолоїної сім'ї<sup>43</sup>.

---

<sup>40</sup> Brosi B.J., Delaplane K.S., Boots M., De Roode J.C. Ecological and evolutionary approaches to managing honeybee disease. *Nat. Ecol. Evol.* 2017. 1, 1250–1262

<sup>41</sup> Tauber J.P., Collins W.R., Schwarz R.S., Chen Y., Grubbs K., Huang Q., Lopez D., Peterson R., Evans J.D. Natural product medicines for honey bees: Perspective and protocols. *Insects.* 2019. 10, 356.

<sup>42</sup> Babenko L.P., Lazarenko L.M., Demchenko O.A., Konarbaeva Z.K. Antibacterial activity of *Lactobacillus casei* IMV B-7280 in cases of experimental urogenital staphylococcosis. *Biotechnologia Acta.* 2015, 8(3). 95-103

<sup>43</sup> Kovalchuk I.I., Fedoruk R.S., Spivak M. Ya., Romanovych M.M., Iskra R. Ya. Influence of immunobiotics B-7280 on the viability of honeybees and the content of essential and toxic microelements in the tissues of the organism. *Microbiological Journal.* 2021. 83 (2), 12-20. doi: 10.15407/microbiolj83.02.042

У дослідженнях використано ліофілізований пробіотичний штам *Lactobacillus casei* IMV B-7280, що виділений в асоційованій культурі біологічного матеріалу та депонований в Українській колекції мікроорганізмів Інституту мікробіології та вірусології імені Д.К. Заболотного НАН України. Перед кожним експериментом життєздатність ліофілізованих штамів перевіряли шляхом моніторингу його росту на агаровому середовищі Ман-Рогози-Шарпа (MRS) при 37°C терміном 24–48 год.

Дослідження проведені на медоносних бджолах карпатської породи в умовах лабораторного термостату ТС-80М-3 з мікрорентильацією при температурі 30° С, вологості 74–76 %, на трьох групах, по 60-65 бджіл у кожній, відібраних з сімей-аналогів за масою, силою сім'ї, віком матки. Бджоли контрольної (К) групи отримували підгодівлю з 60% цукрового сиропу в кількості 2 мл/групу/добу. Дослідна 1 група бджіл (Д 1) – додатково до 2 мл цукрового сиропу отримувала пробіотик *Lactobacillus casei* B-7280 у концентрації 10<sup>9</sup> КУО/мл; дослідна 2 група бджіл (Д 2) – додатково до 2 мл цукрового сиропу отримувала пробіотик B-7280 у концентрації 10<sup>6</sup> КУО/мл.

Підгодівлю бджіл проводили щодобово. Тривалість вигоювання пробіотику та сиропу – 30 днів. Кормову і рухову активність бджіл реєстрували щодобово впродовж усього періоду дослідження. Проводили підрахунок мертвих і живих бджіл.

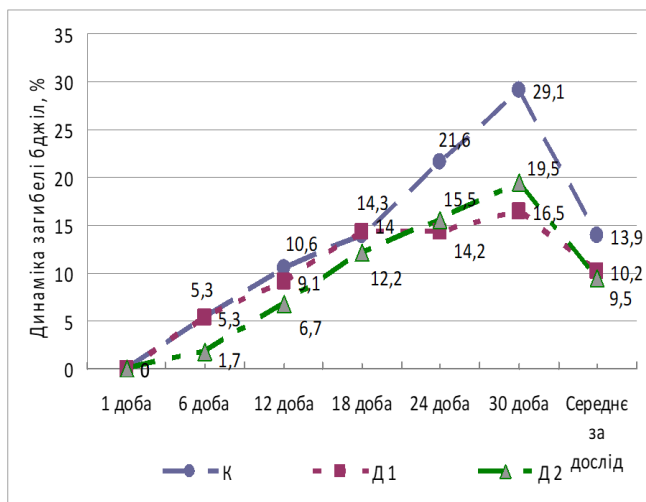
Дослідження проведені згідно з Європейською конвенцією про захист тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (1986 р.), і статті 26 Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження».

Отримані цифрові дані за етапами досліджень статистично опрацьовували за допомогою стандартного пакету статистичних програм *Microsoft EXCEL* з використанням коефіцієнта Стюдента (р).

Отримані результати доводять, що пробіотик *Lactobacillus casei* B-7280 проявляє стимулюючий вплив на життєздатність медоносних бджіл карпатської породи впродовж 30 діб його застосування з цукровим сиропом в умовах лабораторного термостату. Вигоювання медоносним бджолам пробіотика *Lactobacillus casei* B-7280 в дозах 1×10<sup>9</sup> КУО/мл (Д 1 група) і 1×10<sup>6</sup> КУО/мл (Д 2 група) за умов лабораторного термостату стимулювало їх життєздатність, що підтверджує більша кількість живих бджіл за 6-денними періодами досліду порівняно з контрольною групою.

Додавання пробіотичного препарату *L. casei* B-7280 до цукрового сиропу впливало на показники життєздатності бджіл дослідних груп. Так, на 6 добу підгодівлі кількість мертвих бджіл у Д 1 та контрольній групах зберігалася на близькому рівні та становила 5,3 %. У наступний

6-добовий дослідний період (7–12 доби) загибель бджіл на 12 добу була нижчою в Д 1 групі на 7,5 %, а Д 2 – на 4,1 % проти 8,0 % у контролі. На 30 добу дослідного періоду загибель бджіл контрольної групи була на рівні 25,2 %, відповідно Д 1-15,9 %, а Д2 – 18,3 %



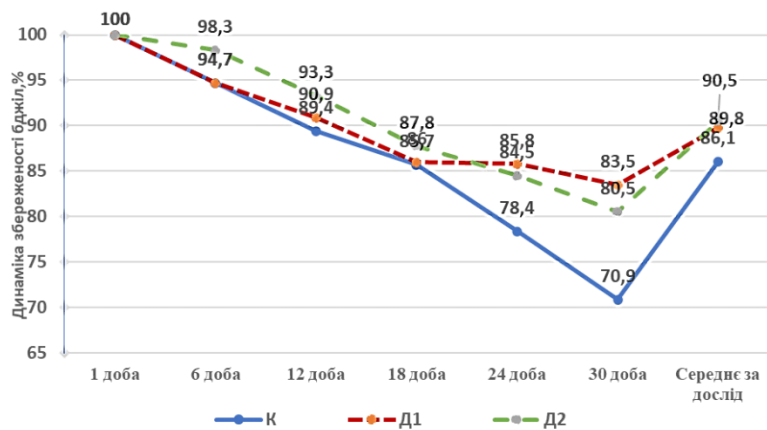
**Рис. 1. Динаміка загибелі бджіл (%) у лабораторному термостаті за умов підгодівлі цукровим сиропом з додаванням *L. casei* B-7280**

Отримані дані свідчать, що впоювання медоносним бджолам пробіотика стимулювало їх життєздатність, що підтверджує більша кількість живих бджіл за 6-денними періодами досліду порівняно з контрольною групою. Застосовані дози пробіотика *Lactobacillus casei* B-7280 підвищували життєздатність бджіл за кількістю живих особин, що більше виражено на 12, 24 і 30 доби досліджу. Середня відносна кількість бджіл в Д 1 та Д 2 групах за 30 діб досліджень перевищувала контрольну групу відповідно на 3,7 і 4,4 %, проте на 24 і 30 доби вказані величини були більшими на 8,6 і 12,3 % в Д 1 і 6,4 і 8,6 % – в Д 2 групах.

Враховуючи, що на розвиток бджолиної сім'ї впливають безліч факторів, проведення досліджень з впливу стимулюючих підгодівель з новими пробіотичними добавками на бджолині сім'ї відкривають можливості ефективніше розвивати бджільництво з урахуванням способів утримання та екологічних особливостей певного регіону<sup>44</sup>. Це

<sup>44</sup> Yazlovitska LS, Kosovan MD, Cherevatov VF, Volkov RA. The catalase activity of *Apis mellifera* L. upon summer feeding with varying carbohydrate diet. *Biological systems*. 2016;8(2):182–188.

підтверджено проведеними дослідженнями із застосуванням пробіотика *Lactobacillus casei* В-7280, що характеризувався позитивним впливом на життєздатність бджіл. Аналізуючи проведені дослідження та джерела літератури можна припустити стимулювальну дію застосованих добавок на розвиток бджолиних сімей, а також нормалізуючий вплив на кишкову мікрофлору організму бджіл, що потребує однак додаткових досліджень.

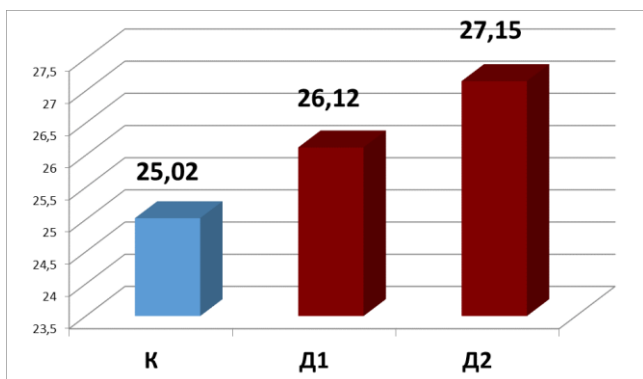


**Рис. 2. Динаміка збереженості бджіл за умов їх підгодовівлі пробіотичним препаратом *L. casei* В-7280**

Пробіотик *L. casei* В-7280 стимулював життєздатність бджіл впродовж 30 днів його застосування з цукровим сиропом в умовах лабораторного термостату. Це підтверджується результатами підрахунку коефіцієнту середньої тривалості життя бджіл, що в контролі становить 25 днів, а дослідних групах відповідно 26 та 27 днів.

Результати досліджень життєздатності бджіл за умов їхньої підгодовівлі цукровим сиропом з додаванням пробіотика В-7280 у концентрації  $1 \times 10^9$  та  $1 \times 10^6$  КУО/мл вказують на їх стимулюючий вплив на тривалість життя в садках лабораторного термостату. Вища збереженість бджіл і зменшення їх загибелі за 30 днів досліджень відзначена в 2 дослідній групі за дії нижчої ( $10^6$  КУО *L. casei*) дози пробіотика.

Отже, аналіз даних літератури і власних досліджень підтверджує припущення щодо безпечності використання пробіотиків для підгодовівлі бджіл. Обґрунтовано доцільність подальших досліджень біологічної активності та безпечності пробіотиків за різних експериментальних моделей з використанням медоносних бджіл.



**Рис. 3. Коефіцієнт середньої тривалості життя бджіл , у.о.**

### **ВИСНОВКИ**

- Пробиотик *L. casei* В-7280 проявляє стимулюючий вплив на життєздатність медоносних бджіл карпатської породи впродовж 30 діб його застосування з цукровим сиропом в умовах лабораторного термостату.

- Згодовування медоносним бджолам пробіотики *L. casei* В-7280 в дозах  $1 \times 10^9$  КУО/мл (Д 1 група) і  $1 \times 10^6$  КУО/мл (Д 2 група) за умов лабораторного термостату стимулює їх життєздатність за 6-денними періодами досліду, що підтверджує більша кількість живих бджіл на 3,7 і 4,4 % порівняно з контрольною групою.

- Застосовані дози пробіотики В-7280 підвищували життєздатність бджіл за кількістю, що більше виражено за 12, 24, 30 доби досліду. Ці дані вказують на доцільність застосування пробіотики В-7280 у цих концентраціях впродовж 30 діб підгодівлі для підвищення життєздатності медоносних бджіл.

### **АНОТАЦІЯ**

Пробиотики – це живі штами мікроорганізмів, які продуктами своєї життєдіяльності оптимізують наявний у ньому кількісний і якісний склад мікробіоти та виявляють стимулюючий вплив на її метаболічну активність. Встановлена систематизація пробіотиків за комплексністю дії препаратів, за поколіннями, родовим складом мікробіоти та формах випуску, представляє практичний інтерес з наукового підходу у виборі пробіотичних штамів для потреб бджільництва. Проаналізовані літературні дані щодо застосування препаратів, які відносяться до фармакологічної групи пробіотиків, вказують на можливість використання їх з метою профілактики низки захворювань та оздоровлення бджіл.



Результати досліджень життєздатності бджіл за умов їхньої підгодівлі цукровим сиропом з додаванням пробіотика В-7280 у концентрації  $1 \times 10^9$  та  $1 \times 10^6$  КУО/мл вказують на їх стимулюючий вплив на тривалість життя в садках лабораторного термостату і підтверджує припущення щодо безпечності використання пробіотиків для підгодівлі бджіл. Обґрунтовано доцільність подальших досліджень біологічної активності та безпечності пробіотиків за різних експериментальних моделей з використанням медоносних бджіл.

### Література

1. Fuller R. History and development of probiotics. *Probiotics. The scientific basis*. London: Chepment and Hall, 1992. P. 1–9 [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-2364-8\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-2364-8_1)
2. Handbook of Prebiotics Edited By Glenn R. Gibson, Marcel Roberfroid. 2008, 504. <https://doi.org/10.1201/9780849381829>
3. Production of functional probiotic, prebiotic and synbiotic ice creams / T. Di Criscio, A. Fratianni, R. Mignogna et al. *J. Dairy Sci.* 2010. Vol. 93, N 10. P. 4555–4564
4. Hamdi, C.; Balloi, A.; Essanaa, J.; Crotti, E.; Gonella, E.; Raddadi, N.; Ricci, I.; Boudabous, A.; Borin, S.; Manino, A. Gut microbiome dysbiosis and honeybee health. *J. Appl. Entomol.* 2011. 135. 524–533
5. Anadyn A., Martnez-Larranaga M. Probiotics for animal nutrition in the European Union. Regulation and Safety Assessment. *Regulatory Toxicology Pharmacology*. 2006. 45, 91-95
6. Fetissov S.O. Role of the gut microbiota in host appetite control: bacterial growth to animal feeding behaviour. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2017. 13(1), 11–25.
7. Thaiss CA, Zmora N, Levy M, Elinav E. The microbiome and innate immunity. *Nature* 2016. 535(7610), 65–74
8. Teitelbaum J.E., Walker W.A. Nutritional impact of pre- and probiotics as protective gastrointestinal organisms. *Annu Rev Nutr.* 2002. 22, 107–138
9. Коцюмбас І.Я., Жила М.І., Шкіль М.І. Пробиотики – необхідна складова при сучасних технологіях вирощування тварин *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького*. 2013. 15(3,57), 174-181
10. Lactobacillus and Bifidobacterium influence on the indices of immune influence on the indices of immune response of the organism showed on 136 experimental model / M. Ya. Spivak, V. S. Pidgorsky, L. M. Lazarenko [et al.] // *Microbiology and Biotechnology*. 2009. 1 (5), P. 39–46.
11. Імуномодельовальна активність пробіотичних штамів лакто- та біфідобактерій in vitro та in vivo / [Лазаренко Л.М., Мокрозуб В.В., Бабенко Л.П. та ін.]. *Тези доповідей XIII з'їзду Товариства мікробіологів ім. С.М. Виноградського*. 2013, 278

12. Spivak M.Ya., Pidgorskyi V.S., Lazarenko L.M. Lactobacillus and Bifidobacterium influence the indices of immune response of the organism showed on experimental model. *Microbiology and Biotechnology*. 2009. 1(5), 39–46.

13. Starovoitova S. Cholesteraze activity of new lacto- and bifidobacteria stains in vitro. *Науковий вісник Ужгород. нац. університету*. 2010, 27. 1–4

14. Starovoitova S.A. Cholesterol-lowering activity of lactic acid bacteria probiotic strains in vivo. *Microbiologichny zhurnal*. 2012, 74 (3).78–85

15. Sabaté D.C., Cruz M.S., Benítez-Ahrendts M.R.; Audisio M.C. Beneficial effects of *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* Mori2, a honey-associated strain, on honeybee colony performance. *Probiot. Antimicrob. Proteins* 2012, 4, 39–46.

16. Мізерницький О.О., Переста М.М. Біологія бджіл та ефективність препарату «Ентеронормін» з «Йодіс+Se». Ексклюзивні ТЕХНОЛОГІЇ. URL: [http:// agrotimete.com.ua](http://agrotimete.com.ua)

17. Szymas B., Landowska A., Kazmierczak M. Histological structure of the Midgut of honey bees ( *Apis Mellifera*L.) Feed Pollen Substitutes Fortified with Probiotics. *Journal of Apicultural Science*. 2012. 56(1), 5–12.

18. Гуцол А.В., Ковальський Ю.В., Ковальська Л.М., Гуцол Н.В. Вплив пробіотиків на ріст, розвиток і господарсько-корисні ознаки медоносних бджіл *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2017. 19(74), 235-238

19. Постоєнко В.О., Нікітіна Л.М., Жолобак Н.М., Засекін Д.А., Єфіменко Т.М., Постоєнко Г.В. Вплив пробіотика «Апінормін» та наноцерію на показники тривалості життя бджіл у лабораторних умовах *Бджільництво України*. 2022. 9, 92-98

20. Разанова О.П., Скрипник С.В. Вплив про біотичних препаратів на розвиток бджолиних сімей у весняний період. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2022. 2(49), 54-60

21. Ullah A., Shahzad M. F., Iqbal J., Baloch, M. S. Nutritional effects of supplementary diets on brood development, biological activities and honey production of *Apis mellifera* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021. 28(12), 6861–6868. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.07.067

22. Alberoni D., Baffoni L., Gaggia F., Ryan P., Murphy K., Ross P., Stanton C. Impact of beneficial bacteria supplementation on the gut microbiota, colony development and productivity of *Apis mellifera* L. *Benef Microbes*. 2018. 9, 269-278

23. Zaslavskaya, N. S., Sverchkova, N. V., Romanovskaya, T. V., Titok, M. A., Kolomiets, E. I., Potapovich, M. I., Prokulevich, V. A. Construction of sporulating bacterial strain of genus *Bacillus* – the basis of novel probiotic for poultry farming. *5-th Congress of European Microbiologists (FEMS 2013), Leipzig, Germany*, July 21–25, 2013, 25-26

24. Hasan, A., Qazi, J. I., Muzaffer, N., Jabeen, S. & Hussain, A. Effect of organic acids and probiotics on growth of *Apis mellifera* workers. *Pakistan Journal of Zoology*. 2022. 1–7, 54, 6, 2577-2583 doi: 10.17582/journal.pjz/20210803100802

25. Patruica, S., Dumitrescu, G., Popescu R., Marioara Nicoleta F. The effect of prebiotic and probiotic products used in feed to stimulate the bee colony (*Apis mellifera*) on intestines of working bees. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2013. 11(3-4), 2461-2464.

26. Kaznowski, A., Szymas, B., Jazdzinska, E., Kazmierczak, M., Paetz, H., Mokracka, J. The effects of probiotic supplementation on the content of intestinal microflora and chemical composition of worker honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of Apicultural Research*. 2005. 44, 1, 10-14. doi: 10.1080/00218839,2005.11101139

27. Liberti J.; Engel P. The gut microbiota–brain axis of insects. *Curr. Opin. Insect Sci*. 2020. 39, 6–13

28. Motta E.V.S, Moran N.A. Impact of Glyphosate on the Honey Bee Gut Microbiota: Effects of Intensity, Duration, and Timing of Exposure. *mSystems*. 2020. 28,5(4), 268-288. doi: 10.1128/mSystems.00268-20.

29. Rokop Z.P., Horton M.A., Newton I.L. Interactions between cooccurring lactic acid bacteria in honey bee hives. *Appl. Environ. Microbiol* 2015. 81, 7261–7270. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4579437>

30. Corby-Harris V.; Maes P.; Anderson K.E. The bacterial communities associated with honey bee foragers. *PLoS ONE* 2014. 9, e95056. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0095056>

31. Anderson K.E., Sheehan T.H., Mott B.M., Maes P., Snyder L., Schwan M.R., Walton A., Jones B.M., Corby-Harris V. Microbial ecology of the hive and pollination landscape: Bacterial associates from floral nectar, the alimentary tract and stored food of honey bees (*Apis mellifera*). *PLoS ONE*. 2013, 8, e83125.

32. Переста М.М., Бойко Н.В., Броварський В.Д., Галатюк О.Є., Мельниченко В.М. та інші Окремі аспекти патогенетичних особливостей бджолиного мору <https://pasika.news/okremi-aspekty-patogenechnyh-osoblyvostej-bdzholynogo-moru>

33. Переста М.М., Бойко Н.В., Броварський В.Д., Галатюк О.Є., Мельниченко В.М. та інші Концепція бджолиного мору <https://pasika.news/konczepczya-bdzholynogo-moru>

34. Kwong W.K., Medina L. A. Dynamic microbiome evolution in social bees. *Sci Adv*. 2017, 3(3):e1600513. doi:10.1126/sciadv.1600513

35. Johnson K.S. Oxygen levels in the gut lumens of herbivorous insects. *J. Insect Physiol*. 2000. 46, 897–903.

36. Engel P, Stepanauskas R., Moran NA Hidden diversity in honey bee gut symbionts detected by single-cell genomics. *PLoS. Genet*. 2014. 10, e1004596

37. Engel P., Bartlett K.D., Moran N.A. The bacterium *Frischella perrara* causes scab formation in the gut of its honeybee host. *mBio*. 2015. 6, e00193–15
38. Zheng H., Powell J.E., Steele M.I., Dietrich C., Moran N.A. Honeybee gut microbiota promotes host weight gain via bacterial metabolism and hormonal signaling. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2017. 114, 4775–4780.
39. Khan M.J., Gerasimidis K., Edwards C.A., Shaikh M.G. Role of Gut Microbiota in the Etiology of Obesity: Proposed Mechanisms and Review of the Literature. *J. Obes.* 2016, 7353642. PMID: 27703805. PMCID: PMC5040794. doi: 10.1155/2016/7353642
40. Brosi B.J., Delaplane K.S., Boots M., De Roode J.C. Ecological and evolutionary approaches to managing honeybee disease. *Nat. Ecol. Evol.* 2017, 1, 1250–1262
41. Tauber J.P., Collins W.R., Schwarz R.S., Chen Y., Grubbs K., Huang Q., Lopez D., Peterson R., Evans J.D. Natural product medicines for honey bees: Perspective and protocols. *Insects*. 2019. 10, 356.
42. Babenko L.P., Lazarenko L.M., Demchenko O.A., Konarbaeva Z.K. Antibacterial activity of *Lactobacillus casei* IMV B-7280 in cases of experimental urogenital staphylococcosis. *Biotechnology Acta*. 2015, 8(3). 95-103
43. Kovalchuk I.I., Fedoruk R.S., Spivak M.Ya., Romanovych M.M., Iskra R.Ya. Influence of immunobiotics B-7280 on the viability of honeybees and the content of essential and toxic microelements in the tissues of the organism. *Microbiological Journal*. 2021. 83 (2), 12-20. doi: 10.15407/microbiolj83.02.042

**Information about the authors:**

**Kovalchuk Iryna Ivanivna,**

Doctor of Veterinary Sciences

Head of the Department of Normal and Pathological Physiology  
named after S.V. Stoianovskiy

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Androshulik Ruslan Leonidovych,**

Postgraduate Student at the Laboratory of Environmental Physiology  
and production quality

Institute of Animal Biology of the National Academy  
of Agrarian Sciences of Ukraine

38, V. Stusa str., Lviv, 79036, Ukraine

## EFFICACY OF PROBIOTICS IN LIVESTOCK

Lemishevskiy V. M.

### INTRODUCTION

In the dynamic conditions of animal husbandry development, new feed additives, preventive and therapeutic agents are increasingly being introduced and used to increase the productivity and resistance of animals to diseases of various etiologies<sup>1</sup>. Special attention is paid to the fight against opportunistic gastrointestinal infections<sup>2</sup>.

When organizing animal feeding, it is important to take into account the risk of microbial contamination of feed and objects in the surrounding environment, which leads to the preemptive colonization of the intestines of newborn animals by pathogenic microorganisms, and as a result, significantly slows down and hinders the formation of normal intestinal microflora<sup>3</sup>. In addition, this causes a disturbance in wall digestion, metabolism, a decrease in resistance and productivity of animals, and the development of gastrointestinal diseases, especially in young animals. The use of antibiotics in these cases is not always justified, as they have a destructive effect on pathogenic microorganisms and the normal microflora of the intestine. The normal functioning of the intestine in animals and birds can be maintained only by maintaining the balance of natural gastrointestinal microflora<sup>4</sup>.

Over the past two decades, there has been a sharp increase in interest in biological preparations that positively affect animal health due to the presence of stabilized cultures of symbiotic living microorganisms or their fermentation products – probiotics<sup>5</sup>.

The term «probiotic» was first used by F. Vergio in 1954, where the author, in a comparative aspect, pointed out the harmful effects that occur after taking antibiotics and the positive effect of beneficial bacteria, calling them «probiotics» The word «probiotic» is of Greek origin: pro – for, bios – life,

---

<sup>1</sup> Акименко Л. Пробиотики у ветеринарній медицині. Ветеринарна медицина України. Київ, 2005. № 5. С. 37.

<sup>2</sup> Коцмобас І. Я., Жила М. І., Лісова Н. Е. Пробиотики та їх роль у сучасному тваринництві. Тваринництво сьогодні. 2018. № 4. С. 52-57.

<sup>3</sup> Кучерявий В. П. Стан структур органів травлення свиней при згодовуванні бовілакту. Вісник Білоцерківського аграрного університету. Біла Церква, 2000. Вип. №12. С. 69–74.

<sup>4</sup> Ducatelle R, Eeckhaut V, Haesebrouck F, Van Immerseel F. A review on prebiotics and probiotics for the control of dysbiosis: present status and future perspectives. *Animal*. 2015 Jan;9(1):43-8. doi: 10.1017/S1751731114002584.

<sup>5</sup> Жила М. І., Левицький Т. Р., Кушнір І. М. Фармакологічні властивості пробіотичних кормових добавок та їх вплив на продуктивність поросят при відгодівлі. Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин. Львів, 2014. Вип. 15. № 1. С. 158–163.

meaning «for life»<sup>6</sup>. According to F. Vergio's definition, probiotics are a mixed culture of bacteria that have a beneficial effect on the body and improve intestinal microflora<sup>7</sup>.

In 1965, D.M. Lilly and R.H. Stilwell used the term «probiotic» to designate pharmacological preparations containing a culture of normal microflora that positively affects the microbial composition of the intestines and the host organism<sup>8</sup>.

In 1974, L. Richard and R. Parker gave a positive characterization not only to living microorganisms but also to the products of their fermentation in their scientific work and pointed out their antagonism towards pathogenic microflora<sup>9</sup>.

According to the definitions formulated by R. Fuller (1989), probiotics are bacteria that are cultured in laboratory conditions and then used to restore the balance of microflora, which can be altered by stress, illness, or the use of antibiotics or antibacterial agents<sup>10</sup>.

Probiotics are substances of microbial or non-microbial origin that, when introduced naturally, promote homeostasis by normalizing the microflora in the bodies of animals<sup>11</sup>. They help maintain a balanced gut microflora at an optimal level and correct it, activate cellular and humoral immunity, accelerate animal adaptation to concentrated feeding, and improve nutrient absorption<sup>12</sup>.

A probiotic effect is achieved thanks to their multi-component composition (amino acids, vitamins, enzymes, and other biologically active substances) and diverse pharmacological activity. However, many of the mechanisms of probiotic action remain unclear and are the subject of research by many scientists around the world<sup>13</sup>.

Today, probiotic feed additives are used to stimulate non-specific immunity, prevent and treat various etiologies of gastrointestinal infections,

---

<sup>6</sup> Hamilton-Miller, J., Gibson, G., & Bruck, W. (2003). Some insights into the derivation and early uses of the word 'probiotic'. *British Journal of Nutrition*, 90(4), 845-845. doi:10.1079/BJN2003954.

<sup>7</sup> Vergin F. Anti- und Probiotika [Antibiotics and probiotics]. *Hippokrates*. 1954 Feb 28;25(4):116-9.

<sup>8</sup> Lilly, D.M. and Stillwell, R.H. Probiotics: Growth-Promoting Factors Produced by Microorganisms. *Science*, 1965, 147, 747-748. doi: 10.1126/science.147.3659.747.

<sup>9</sup> Parker, R.B. Probiotics, the Other Half of Antibiotic Story. *Animal Nutrition & Health*, 1974. 29, 4-8.

<sup>10</sup> Fuller R. Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 1989, 66, 365-378. doi: 10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x.

<sup>11</sup> Кучерявий В. П. Стан структур органів травлення свиней при згодовуванні бовілакту. *Вісник Білоцерківського аграрного університету*. Біла Церква, 2000. Вип. № 12. С. 69–74.

<sup>12</sup> Fuller, R. 1994. Probiotics: an Overview. In: Gibson, S.A.W. (eds) *Human Health. Springer Series in Applied Biology*. Springer, London. doi: 10.1007/978-1-4471-3443-5\_4.

<sup>13</sup> Ishibashi N, Yamazaki S. Probiotics and safety. *Am J Clin Nutr*. 2001 Feb; 73(2 Suppl):465S-470S. doi: 10.1093/ajcn/73.2.465s.

and for digestive disorders caused by sudden changes in diet, disrupted feeding regimes, and dysbiosis.

### **1. Theoretical and practical rationale for the use of probiotics**

As mentioned above, veterinary probiotics are feed additives consisting of microbial and non-microbial substances, which positively affect the growth and development of the indigenous microbiota of the gastrointestinal tract of animals by optimizing it and increasing the metabolic and protective mechanisms of the animal's body. Probiotics mainly consist of live microorganisms, usually representatives of the normal intestinal microflora, which possess a probiotic effect and have a negative impact on the growth and development of pathogenic and conditionally pathogenic microflora of the intestine<sup>14</sup>.

Currently, there is a large number of veterinary probiotic feed additives on the market based on probiotic strains of normal intestinal microflora of animals. These preparations mainly include strains of lactobacilli, bifidobacteria, a complex of lyophilized spore-forming bacteria *Bacillus subtilis*, *Bacillus coagulans*, *Clostridium butyricum*, sorbents, etc<sup>15</sup>. Although the bacteria *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* are not classical representatives of the normal flora of the intestines of animals and birds, they have properties that allow the body to maintain microbial balance at a naturally ecological level<sup>16</sup>.

Also, it should be taken into account that most scientists cannot provide a clear definition of the term «normal microflora.» This is due to the fact that normal microflora in the human or animal body is represented by evolutionarily formed complex microbiocenoses that exist as multifunctional systems<sup>17</sup>.

The quantitative and species composition of the intestinal microflora is formed from the first days of postnatal development of the organism. According to H. Tissier (1905), the gastrointestinal tract remains sterile on the first day after birth. In the first week, cocci, bacilli, and *Escherichia coli* begin to proliferate in the digestive tube. Subsequently, the so-called «transplantation period» begins, when bifidobacteria begin to displace all

---

<sup>14</sup> Paraniak, R., Kalyn, B., & Nahiriak, T. (2018). Value and feasibility of probiotic use. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 20(87), 116-121. doi: 10.15421/nvlvet8723.

<sup>15</sup> Green DH, Wakeley PR, Page A, Barnes A, Baccigalupi L, Ricca E, Cutting SM. Characterization of two *Bacillus* probiotics. *Appl Environ Microbiol*. 1999 Sep;65(9):4288-91. doi: 10.1128/AEM.65.9.4288-4291.1999.

<sup>16</sup> Lan R, Tran H, Kim I. Effects of probiotic supplementation in different nutrient density diets on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, fecal microflora and noxious gas emission in weaning pig. *J Sci Food Agric*. 2017 Mar;97(4):1335-1341. doi: 10.1002/jsfa.7871.

<sup>17</sup> Perdigon G, Alvarez S, Rachid M, Agüero G, Gobbato N. Immune system stimulation by probiotics. *J Dairy Sci*. 1995 Jul;78(7):1597-606. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76784-4.

previous microorganisms, and the normal intestinal flora is formed, which at this stage consists mainly of bifidobacteria<sup>18</sup>.

The composition of the microflora in different sections of the gastrointestinal tract varies, which is due to the anatomical and functional peculiarities of each of the sections, as well as depending on the type of feeding (diet) of the animals. The microflora of the stomach is characterized by weak species variability and number due to the acidic environment and the effect of lysozyme, which has bactericidal properties. The stomach's flora consists mainly of acid-resistant microorganisms and representatives of anaerobes. In the proximal sections of the intestine, the chyme has a weakly alkaline reaction, and free molecular oxygen is present in the lumen of the intestines, which is a favorable environment for the growth and development of aerobic groups of microorganisms<sup>19</sup>. However, in the small intestine of clinically healthy animals, the flora is not diverse and consists of lactobacilli, cocci, fungi, and to a lesser extent, bacilli. In the duodenum and jejunum, microorganisms are mainly located along the wall. In the distal sections of the intestine, the oxygen level drops sharply, so only anaerobic microorganisms can reproduce and live there, the groups of which are characterized by significant variability. An intermediate link among aerobic and anaerobic microorganisms inhabiting the intestine is occupied by facultative microorganisms<sup>20</sup>.

The microflora of the gastrointestinal tract is a necessary component for both the functioning of the digestive system and the overall health of the macroorganism. Microorganisms can adhere to the mucous membrane of the intestine and, together with the mucus produced by goblet cells, form a biofilm that serves as a barrier against the attachment and penetration of foreign bodies through the mucous membrane<sup>21</sup>.

The microbial ecosystem of the digestive system indirectly participates in the stimulation of the motility of the gastrointestinal tract and counteracts the proliferation of pathogenic microflora by synthesizing hormones and producing formic, acetic, and lactic acid<sup>22</sup>. The intestinal flora partially

---

<sup>18</sup> Socol, Carlos Ricardo, et al. The potential of probiotics: a review. *Food Technology and Biotechnology* 48.4. 2010: 413-434.

<sup>19</sup> Holzapfel WH, Haberer P, Snel J, Schillinger U, Huis in't Veld JH. Overview of gut flora and probiotics. *Int J Food Microbiol.* 1998 May 26;41(2):85-101. doi: 10.1016/s0168-1605(98)00044-0.

<sup>20</sup> Madsen K, Cornish A, Soper P, McKaigney C, Jijon H, Yachimec C, Doyle J, Jewell L, De Simone C. Probiotic bacteria enhance murine and human intestinal epithelial barrier function. *Gastroenterology.* 2001 Sep;121(3):580-91. doi: 10.1053/gast.2001.27224.

<sup>21</sup> Sanz Y, De Palma G. Gut microbiota and probiotics in modulation of epithelium and gut-associated lymphoid tissue function. *Int Rev Immunol.* 2009;28(6):397-413. doi: 10.3109/08830180903215613.

<sup>22</sup> Havenaar, R. and Huis in't Veld, J.H.J. (1992) Probiotics: A General Review' in the *Lactic Acid Bacteria in Health and Disease*. In: Wood, B., Ed., Elsevier, London, 151-170. doi: 10.1007/978-1-4615-3522-5\_6.



performs the function of digestion, which is due to the synthesis of digestive enzymes for the breakdown of food particles. The composition of the microflora changes under the influence of probiotic preparations, with an increase in the number of lactobacilli and other anaerobic microorganisms<sup>23</sup>.

Mestecky (2015) reported that the microflora of the intestine stimulates the proliferation of enterocytes, increasing the overall area of the intestine<sup>24</sup>.

Probiotic strains of microorganisms possess bacteriocinogenic activity, which is characterized by the synthesis of proteinaceous antibiotics with a limited range of action that destroy pathogenic species or strains or inhibit their growth. The protective functions of the indigenous microflora of the intestine also include the synthesis and maintenance of a certain level of secretory IgA on the mucous membrane and regulation of the maturation of the lymphoid apparatus of the intestine. Secretory IgA is capable of binding to pathogenic microorganisms and other antigens, hindering their attachment to enterocytes of the mucous membrane of the intestine. Epithelial cells bind to IgA through specific receptors and play a crucial role in the selective transport of immunoglobulins into the lumen of the intestine<sup>25</sup>.

It is important to remember that in order to restore normal intestinal microflora, it is necessary to first eliminate the cause that negatively affects the balance of microbiota. In animals and birds with dysbiosis, diarrhea, decreased digestion, and absorption of nutrients are observed. The microorganisms that are part of probiotic preparations, if used as a therapeutic agent, have virtually no chance of performing their functions. In the gastrointestinal tract, there are no conditions for the attachment and growth of probiotic bacteria at that moment. Therefore, it is necessary to first carry out therapeutic and preventive measures to improve the body's condition to stabilize digestion before using probiotics<sup>26</sup>.

However, the obstacle to the implementation of probiotic feed additives in the technology of raising young animals and birds is the fact that industry experts are accustomed to the use of feed antibiotics and do not want to give them up in favor of new forms of probiotics. Also, a significant barrier in this direction is such precedents when probiotic preparations are unable to provide the efficiency declared by manufacturers when applied to a particular type of animal or bird, which discourages specialists from giving up feed antibiotics in favor of probiotics. However, the low efficiency of probiotics is often due

---

<sup>23</sup> Stropfová, V., Lauková, A. & Ouwehand, A.C. Lactobacilli and enterococci – Potential probiotics for dogs. *Folia Microbiol* 49, 203–207 (2004). doi: 10.1007/BF02931403.

<sup>24</sup> Mestecky, Jiri, et al., editors. *Mucosal Immunology*. 4th ed., Elsevier Academic Press, 2015. 2540.

<sup>25</sup> Perdigon G, Alvarez S, Rachid M, Agüero G, Gobbato N. Immune system stimulation by probiotics. *J Dairy Sci*. 1995 Jul;78(7):1597-606. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76784-4.

<sup>26</sup> Kyriakis S. C., Tsioloyiannis V. K., Vlemmas J., Sarris K., Tsinas A. C., Alexopoulos C., Jansegers L. The effect of probiotic LSP 122 on the control of post-weaning diarrhoea syndrome of piglets. *Research in Vet. Sci*. 1999. Vol. 67 (3). P. 223-228.

to the distributor's failure to adhere to strict temperature storage conditions for feed additives based on lactobacilli and bifidobacteria, which serves as a contributing factor to the reduction of live microflora<sup>27</sup>. Nevertheless, probiotics based on *Bacillus subtilis* bacteria have minimal environmental impact factors because a significant portion of microbial cells in such preparations are represented by spores. Therefore, spore-forming probiotics are currently more effective compared to preparations based on lacto- and bifidobacteria<sup>28</sup>.

Progressive forms of probiotic preparations contain natural sorbents (charcoal, zeolites, silicas, diatomites) in their composition. Microorganisms in such preparations are immobilized on micro-particles of the sorbent and, thanks to chemical and electrostatic forces, interact with the intestinal wall better, and colonization by microorganisms occurs faster. Additionally, the sorbent performs a detoxification function<sup>29</sup>.

Prominent representatives of fourth-generation probiotics are Probiomforte (Woogene B&G, Korea) and BioPlus 2B (Biochem, Germany), which include immobilized live bacteria *Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium butyricum*, *Rhodopseudomonas capsulata*, *Bacillus subtilis*, and *Bacillus licheniformis* at a concentration of  $3.2 \times 10^9$  CFU/g of feedstuff<sup>30</sup>.

Bacterial probiotic preparations have a complex effect on the animal organism and are highly effective in the prevention and treatment of bacterial diseases. The effectiveness of treatment is achieved through a complex of etiotropic, pathogenetic, and immunostimulating mechanisms of action on animal tissues and physiological systems. The use of probiotics in animal feeding significantly reduces the costs of treating animal diseases while improving animal productivity. Additionally, the use of probiotics worldwide is considered an important component of improving the ecological safety of agricultural products<sup>31</sup>.

Probiotic feed additives are capable of increasing the resistance of animal organisms to pathogenic viruses, as demonstrated in the experiment of Hori T. et al. (2002), where laboratory animals were orally administered *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus acidophilus*, resulting in an increase in

---

<sup>27</sup> Ishibashi N, Yamazaki S. Probiotics and safety. *Am J Clin Nutr.* 2001 Feb; 73(2 Suppl):465S-470S. doi: 10.1093/ajcn/73.2.465s.

<sup>28</sup> Casula G, Cutting SM. *Bacillus* probiotics: spore germination in the gastrointestinal tract. *Appl Environ Microbiol.* 2002 May; 68(5):2344-52. doi: 10.1128/AEM.68.5.2344-2352.2002.

<sup>29</sup> Жила М. І. Порівняльна оцінка фармакологічних властивостей пробіотичних препаратів при їх клінічному випробуванні. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. 2014. Т. 16, № 3 (60). Ч. 2. С. 99–105.

<sup>30</sup> Link, R., Kováč, G. The effect of probiotic BioPlus 2B on feed efficiency and metabolic parameters in swine. *Biologia* 61, p 783–787 (2006). doi: 10.2478/s11756-006-0158-x.

<sup>31</sup> Yang F, Hou C, Zeng X, Qiao S. The use of lactic Acid bacteria as a probiotic in Swine diets. *Pathogens.* 2015 Jan 27;4(1):34-45. doi: 10.3390/pathogens4010034.

the number of plasma cells and increased synthesis of antibodies to the influenza virus<sup>32</sup>.

However, there are still discussions regarding the dosing of probiotic preparations to achieve positive changes in the overall condition and health of the human and animal body. For example, according to Rijkers, G.T. et al. (2010), the number of live microorganisms in probiotics should be no less than 109 CFU/ml. in order for the number of microorganisms in the gastrointestinal tract to increase 10-100 times after consumption<sup>33</sup>.

Consequently, scientific studies aimed at studying the effective dose and the effect of Probion-forte and BioPlus 2B probiotic feed additives on piglets' productive performance and morphofunctional state are relevant and importance.

## **2. The effect of probiotic feed additives on the morphofunctional state of pigs**

Clinical trials of probiotics were carried out in production conditions on piglets of the breed Large-White at 28 days of age. Four experimental groups of 30 piglets each were formed on the principle of analogs. Piglets of group I were fed standard feed with the addition of the probiotic feed additive Probion-forte at a dose of 1g/kg of feed; group II was fed feed with the addition of Probion-forte at a dose of 0.5 g/kg of feed; group III was fed feed with the addition of BioPlus 2B at a dose of 0.4 g/kg of feed for 42 days.

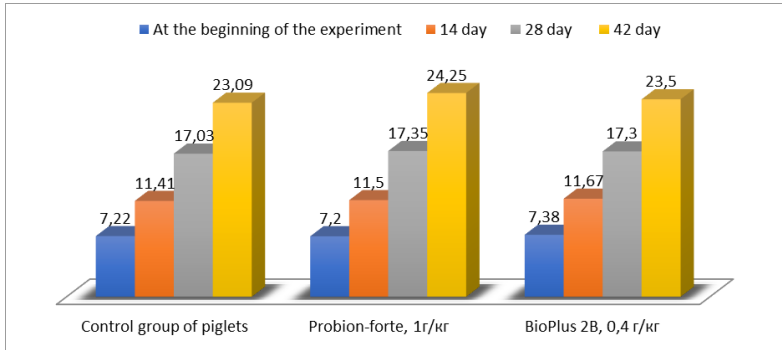
The control group piglets were fed feed according to the norms recommended for the breed Large-White, taking into account the age category. Piglets of group I were fed feed with the addition of the probiotic Probion-forte (produced by Woogene, Korea) at a dose of 1 g/kg of feed, and piglets of group II were fed Bioplus 2B (produced by Biochem, Germany) at a dose of 0.4 g/kg of feed for 42 days. Throughout the study, the general condition of the animals was observed, and on the 14th and 28th day, live weight, feed intake, and retention time of feed in the stomach were determined.

For 42 days of feeding feed with the addition of probiotic feed additives, better assimilation of feed and a gradual increase in the live weight of piglets, in relation to the control group of animals, were noted during the observation period (Fig. 1).

---

<sup>32</sup> Hori T, Kiyoshima J, Shida K, Yasui H. Augmentation of cellular immunity and reduction of influenza virus titer in aged mice fed *Lactobacillus casei* strain Shirota. *Clin Diagn Lab Immunol.* 2002 Jan;9(1):105-8. doi: 10.1128/cdli.9.1.105-108.2002.

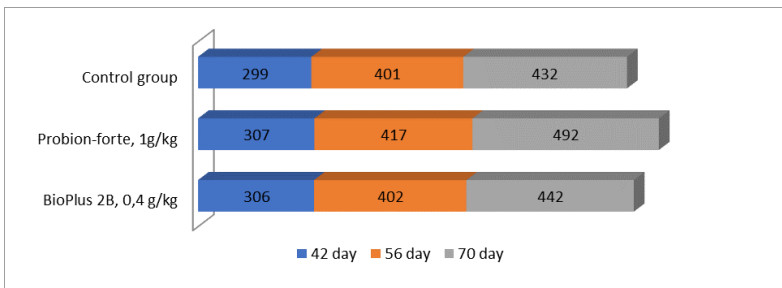
<sup>33</sup> Rijkers GT, Bengmark S, Enck P, Haller D, Herz U, Kalliomaki M, Kudo S, Lenoir-Wijnkoop I, Mercenier A, Myllyluoma E, Rabot S, Rafter J, Szajewska H, Watzl B, Wells J, Wolvers D, Antoine JM. Guidance for substantiating the evidence for beneficial effects of probiotics: current status and recommendations for future research. *J Nutr.* 2010 Mar;140(3):671S-6S. doi: 10.3945/jn.109.113779.



**Fig. 1**  
**Dynamics of piglet weight change during feeding with feed supplemented with probiotics (M±m, n=10)**

For experimental animals fed full ration for 42 days, the live weight was 23kg. However, for piglets fed probiotics, positive growth dynamics were observed. For piglets fed Probion-forte at a dosage of 1 g/kg of feed, the live weight was 24.2kg, and for piglets fed Bioplus 2B at a dosage of 0.4 g/kg of feed, the live weight was 23.5kg, which was 1.2kg and 0.5kg more, respectively, than the control group.

The most objective indicator of piglet growth intensity is the average daily gains (ADG). As the data (Figure 2) shows, the experimental groups outperformed the control group in terms of average daily gains throughout the entire growing period. A significant difference in indicators was observed on the 42nd day of feeding supplements when the piglets were 70 days old.



**Fig. 2. Dynamics of average daily gains of piglets during feeding of feeds with probiotic additives (M±m, n=10)**

Swine fed with the probiotic Probion-forte at a dosage of 1 g/kg, with an average live body weight of 24.25 kg, had a feed conversion ratio of 2.24;

while in animals fed with Bioplus 2B at a dosage of 0.4 g/kg, with an average live body weight of 23.5 kg, the conversion ratio was 2.37. In the control group of animals with an average body weight of 23 kg, the conversion ratio was 2.5 (Table 1).

Table 1

**Weight indicators of experimental groups of piglets when fed with feed containing probiotics for 42 days (M±m, n=10)**

Index	Probiotics, dose in the feed		
	Control group	Probion-forte 1 g/kg	Bioplus 2B 0,4 g/kg
Body weight of piglets at the beginning of the experiment, kg	7,2±0,12	7,2±0,14	7,3±0,15
Body weight gain during the experimental period, kg	23±0,20	24,25±0,12	23,5±0,17
Feed costs per 1 kg of growth, kg	2,5	2,24	2,37

\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Therefore, based on the analysis of productivity indicators in the studied groups of piglets, it can be concluded that the use of the probiotic Probion-forte at a dose of 1.0 g/kg and Bioplus 2B at a dose of 0.4 g/kg in feed contributes to a reduction in feed conversion, an increase in average daily gains, and an increase in live weight of piglets.

In the light-optical study of histological preparations of the duodenum of pigs, it was noted that in the control group of animals, the villi of the mucous membrane were dense, not high, and had a finger-like shape (Fig. 3), and a moderate number of round goblet cells were observed between the prismatic enterocytes. Moderate infiltration of the lamina propria of the mucous membrane with lymphocytes was noted (Fig. 4). In piglets of group I, the villi were leaf-shaped, well-structured (Fig. 5), and somewhat higher relative to the control group of piglets. The prismatic-shaped epithelial cells had a pronounced acidophilic rim on the apical surface (Fig. 6). In piglets of group II, the villi of the mucous membrane were densely arranged next to each other with a moderate number of goblet cells (Fig. 7), while in piglets of group III, the villi were loosely arranged next to each other with a small number of goblet-like cells (Fig. 8).

In the morphometric study, the height of the villi of the mucous membrane of the duodenum of the control group of pigs was 315.13 µm, while in piglets of group I, the height of the villi significantly increased and amounted to 374.64 µm, which 59.51 µm higher than in piglets of the control group (Table 2). Also, in groups II and III, this morphometric indicator was higher by 24.24 µm and 19.74 µm, respectively, compared to the control animals.

The width of the villi of the duodenum of piglets in the control group was 164.96  $\mu\text{m}$ , while in piglets of group I it was 166.32  $\mu\text{m}$ , in group II it was 162.82  $\mu\text{m}$ . However, in piglets of group III, the width of the villi was statistically significantly the smallest and amounted to 145.86  $\mu\text{m}$ . Due to the increase in the height and width of the villi of the mucous membrane, the absorptive surface of the intestine also increases, which improves nutrient absorption and utilization.

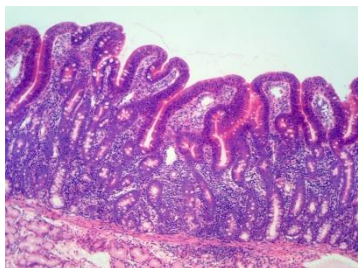
The depth of Lieberkuhn's glands of the mucous membrane of the duodenum of piglets of the control group was oval in shape and their depth was 122.71  $\mu\text{m}$ , and in piglets of the I group, the depth of the crypts reliably increased by 18.26  $\mu\text{m}$  and amounted to 140.97  $\mu\text{m}$ . At the same time, a moderate increase was noted of goblet-shaped exocrinocytes in the crypts in comparison with the control group of animals. The width of the crypts slightly increased in the mucosa of the duodenum of piglets of I group and amounted to 46.34  $\mu\text{m}$ , compared to the similar indicator of the control group of 39.87  $\mu\text{m}$ . Also, the width of the crypts in piglets of group III was statistically reliable larger and was 42.83  $\mu\text{m}$ .

Table 2

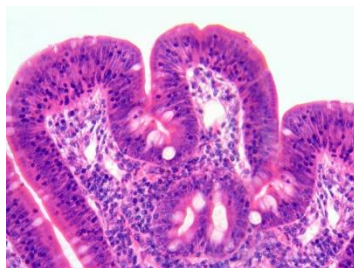
**Morphometric indicators of the duodenum of piglets  
on the 42nd day of the experiment ( $M \pm m$ ,  $n=5$ )**

Index	Control group	Probion-forte 1 g/kg (I group)	Probion-forte 0,5 g/kg (II group)	Bioplus 2B 0,4 g/kg (III group)
The height of the villi, microns	315,13 $\pm$ 1,00	374,64 $\pm$ 2,23***	339,37 $\pm$ 3,1	334,87 $\pm$ 0,76***
The width of the villi, microns	164,96 $\pm$ 1,31	166,32 $\pm$ 1,08	162,82 $\pm$ 2,3	145,86 $\pm$ 1,32***
Crypt depth, microns	122,71 $\pm$ 1,93	140,97 $\pm$ 2,50**	126,45 $\pm$ 2,7	123,94 $\pm$ 5,34
Crypt width, microns	39,87 $\pm$ 0,50	46,34 $\pm$ 0,53***	40,71 $\pm$ 0,7	42,83 $\pm$ 0,51**
Index of villi, units	2,56	2,65***	2,68	2,70***

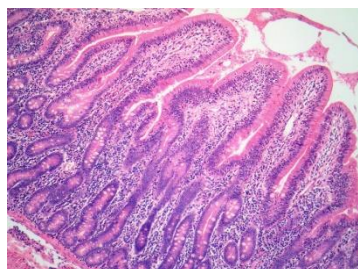
\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .



**Fig. 3. The mucous membrane of the duodenum in pigs of the control group. H&E stain, x100.**



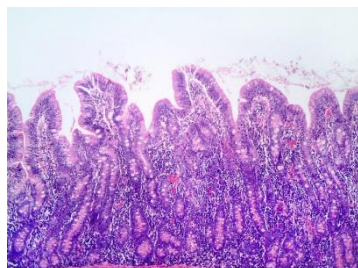
**Fig. 4. The structure of the villi of the duodenum in pigs of the control group. H&E stain, x400.**



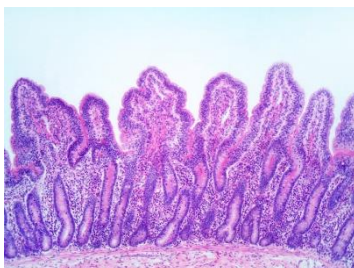
**Fig. 5. The mucous membrane of the duodenum in I group. H&E stain, x100.**



**Fig. 6. The structure of the villi of the duodenum in pigs of I group. H&E stain, x400.**



**Fig. 7. The mucous membrane of the duodenum in group II. H&E stain, x100.**

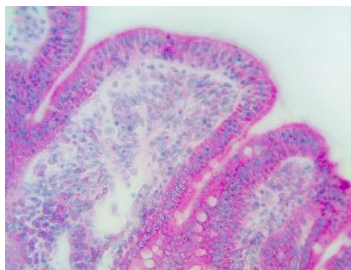


**Fig. 8. The mucous membrane of the duodenum in group III. H&E stain, x100.**

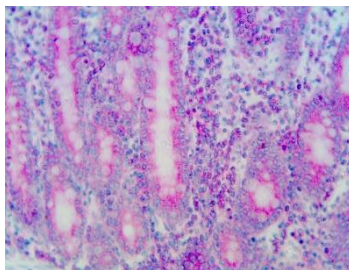
Fluctuations in morphometric indicators of the morpho-functional structures of the mucous membrane of the duodenum among the experimental groups of pigs led to the formation of different villi indices (the ratio of the

height of the villi to the depth of the crypts). In pigs of the control group, the villi index was 2.56  $\mu\text{m}$ . However, in group I pigs, it was 2.65  $\mu\text{m}$ ; in group II, 2.68  $\mu\text{m}$ ; and in group III, 2.70  $\mu\text{m}$ , which was significantly higher than its value in the control group of animals.

In the histological examination of DNA and RNA in prism-shaped enterocytes of the mucous membrane of the porcine duodenum in the control group, which were fed full-fledged mixed feeds, moderate pyroninophilia of the cytoplasm of enterocytes (Fig. 9) and pronounced pyroninophilia of the cytoplasm of plasma cells in the lamina propria of the mucous membrane (Fig. 10) were observed. In the mucous membrane of the duodenum of pigs in group I, a more saturated raspberry color of the cytoplasm and nuclei of enterocytes with a blue-green coloration was noted, indicating an increase in the content of RNA and DNA in the cells. Plasma cells were located mainly diffusely in the lamina propria of the mucous membrane and in the region of the crypts and connective tissue of the villi, both in the control group and in the experimental groups of pigs. In the crypts of the lamina propria of the mucous membrane of piglets of the control group, a moderate staining of the cytoplasm of prismatic enterocytes was noted, without brush-border enterocytes and apodocytes.



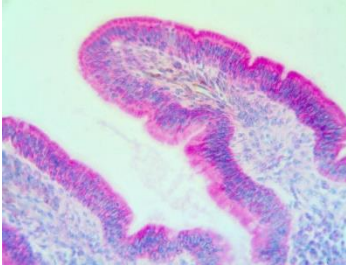
**Fig. 9. Villi of the duodenum of pigs from the control group. Pyronine/MG Brachet, x400.**



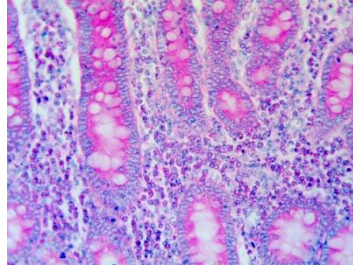
**Fig. 10. Plasma cells in the own plate of the mucous membrane of the duodenum of pigs from the control group. Pyronine/MG Brachet, x400.**

In pigs of I group, a higher pyroninophilia of the cytoplasm of absorptive enterocytes in the villi (Fig. 11) and without goblet cells in the crypts of the mucous membrane of the duodenum (Fig. 12) was observed compared to the control group of animals.



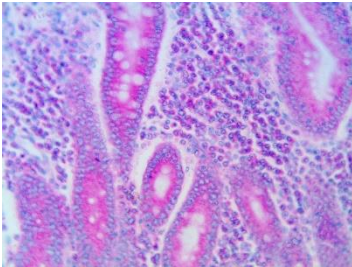


**Fig. 11. Villi of the duodenum of pigs from I group. Pyronine/MG Brachet, x400.**

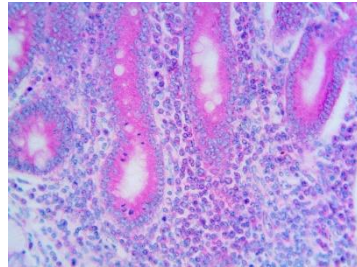


**Fig. 12. Plasma cells in the own plate of the mucous membrane of the duodenum. Pigs from the group I. Pyronine/MG Brachet, x400.**

Also, an increase in the number of diffusely and associatively located plasma cells with pronounced pyroninophilic cytoplasm and eccentrically located nuclei was noted in the own plate of the mucous membrane of groups II, III (Fig. 13, 14).

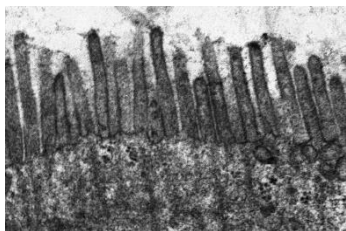


**Fig. 13. Plasma cells in the own plate of the mucous membrane of the duodenum. Pigs from the group II. Pyronine/MG Brachet, x400.**

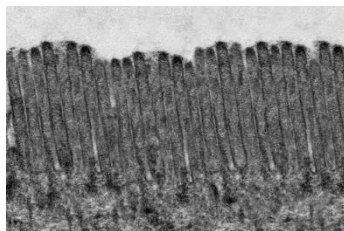


**Fig. 14. Plasma cells in the own plate of the mucous membrane of the duodenum. Pigs from the group III. Pyronine/MG Brachet, x400.**

At the same time, differences in the ultrastructure of the mucous membrane of the duodenum of pigs were noted. In the control group of pigs, the plasma membrane of columnar cells consisted of two electron-dense layers and a less dense intermediate layer on the apical surface of which microvilli were located, which had different heights and were freely arranged next to each other (Fig. 15).



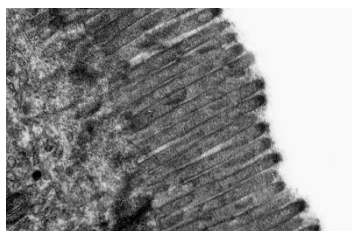
**Fig. 15. Microvilli of enterocytes in the mucous membrane of the duodenum. Pigs from the control group. Electron micrograph, x24000.**



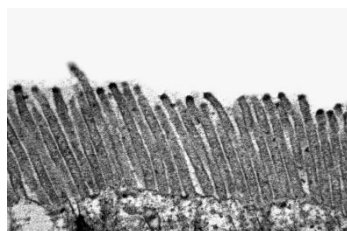
**Fig. 16. Microvilli of enterocytes in the mucous membrane of the duodenum. Pigs from I group. Electron micrograph, x24000.**

In pigs from I group, the microvilli on the apical surface of the enterocytes were noticeably longer and more densely arranged next to each other, forming a dense brush border (Fig. 16).

The matrix of the microvilli was slightly denser compared to the main substance of the cell cytoplasm. Similar ultrastructure of the microvilli of the mucous membrane was observed in pigs from groups II and III (Fig. 17, 18).



**Fig. 17. Microvilli of the enterocyte of the mucous membrane of the duodenum. Pigs of the II group. Electron micrograph, x24000.**



**Fig. 18. Microvilli of the enterocyte of the mucous membrane of the duodenum. Pigs of the III group. Electron micrograph, x24000.**

It should be noted that there were ultrastructural differences in the nuclei and mitochondria of enterocytes in the experimental groups of animals. In the control group of pigs, the nuclei were mostly irregular in shape with one or several nucleoli, more electron-dense, and with moderate chromatin content. The nuclei of enterocytes from pigs in I group were oval in shape with wavy relief of the karyolemma, slightly widened nuclear pores, and higher content of condensed nuclear chromatin.

Both in the experimental and control groups of pigs, mitochondria in the cytoplasm of enterocytes were more concentrated in the apical region of the cells, mainly oval, rod-shaped, and round in shape and varying in size. In the control group of pigs, the mitochondria of enterocytes had a dumbbell shape and were not very large. In the enterocytes of pigs from the experimental groups, a greater number of mitochondria were observed, which contained a moderate amount of cristae.

## **CONCLUSIONS**

It has been established that feeding piglets with feed containing the probiotic feed additives Probion-forte and BioPlus 2B in different doses contributed to:

- increasing average daily weight gain and live weight gain in piglets when fed with the probiotic Probion-forte at a dose of 1.0 g/kg and BioPlus 2B at a dose of 0.4 g/kg, as well as reducing feed conversion.
- increasing the height of villi and depth of crypts, which promoted the improvement of digestion and absorption processes in the piglets' duodenum.
- increasing the content of RNA and DNA in enterocytes of crypts, which was caused by intensive proliferative processes in the germinal zone of the mucous membrane of the piglets' duodenum, aimed at increasing the villi index.
- the presence of a moderate number of lymphocytes and plasma cells in the mucous membrane plate of the intestinal wall relative to the control group of animals indicates the immunomodulatory properties of the probiotic feed additives, both Probion-forte and BioPlus 2B.
- the dense arrangement of microvilli and changes in the nuclei of enterocytes in the piglets' duodenum indicate an increase in the functional activity of enterocytes and a more pronounced activity of wall digestion in the intestine compared to the control group of animals.

## **SUMMARY**

The purpose of the study was to investigate on average daily gains, morphometric indicators, ultrastructure, and the content of nucleic acids in the wall of the weaned piglets' duodenum when feeding with feed containing different amounts of probiotic feed additives Probion-forte and BioPlus 2B. The study was carried out on 28-day-old piglets of the Large White breed. Four groups of 30 piglets each were formed; the control group was fed a standard feed mix, piglets of group I received a standard feed mix with the addition of probiotic feed additive Probion-forte at a dose of 1 g/kg of feed, group II received a feed mix with the addition of Probion-forte at a dose of 0.5 g/kg of feed, and group III received a feed mix with the addition of BioPlus 2B at a dose of 0.4 g/kg of feed for 42 days. The statistical significance of the differences was determined by Student's t-test, assuming a 5% error rate.

It has been shown that feeding piglets with a probiotic feed supplement called Probion-forte for 42 days at a dose of 1g/kg enhances the height of villi, depth of crypts, and the number of plasma cells in the mucous membrane of the duodenum. This contributes to the digestion process and increases the absorption area of nutrients in the intestine. The increase in the number of plasma cells in the mucous membrane of the duodenum of the piglets in the experimental groups indicates an immunomodulatory effect of the feed supplement. Ultrastructural changes in microvilli and nuclei of enterocytes in the duodenum of the experimental piglets indicate a more pronounced functional activity of enterocytes, which enhances the activity of wall digestion in the intestine.

### Bibliography

1. Акименко Л. Пробиотики у ветеринарній медицині. Ветеринарна медицина України. Київ, 2005. № 5. С. 37.
2. Коцюмбас І. Я., Жила М. І., Лісова Н. Е. Пробиотики та їх роль у сучасному тваринництві. Тваринництво сьогодні. 2018. № 4. С. 52-57.
3. Кучерявий В. П. Стан структур органів травлення свиней при згодовуванні бовілакту. Вісник Білоцерківського аграрного університету. Біла Церква, 2000. Вип. № 12. С. 69–74.
4. Ducatelle R, Eeckhaut V, Haesebrouck F, Van Immerseel F. A review on prebiotics and probiotics for the control of dysbiosis: present status and future perspectives. *Animal*. 2015 Jan;9(1):43-8. doi: 10.1017/S1751731114002584.
5. Жила М. І., Левицький Т. Р., Кушнір І. М. Фармакологічні властивості пробіотичних кормових добавок та їх вплив на продуктивність поросят при відгодівлі. Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин. Львів, 2014. Вип. 15. № 1. С. 158–163.
6. Hamilton-Miller, J., Gibson, G., & Bruck, W. (2003). Some insights into the derivation and early uses of the word 'probiotic'. *British Journal of Nutrition*, 90(4), 845-845. doi:10.1079/BJN2003954.
7. Vergin F. Anti- und Probiotika [Antibiotics and probiotics]. *Hippokrates*. 1954 Feb 28;25(4):116-9.
8. Lilly, D.M. and Stillwell, R.H. Probiotics: Growth-Promoting Factors Produced by Microorganisms. *Science*, 1965, 147, 747-748. doi: 10.1126/science.147.3659.747.
9. Parker, R.B. Probiotics, the Other Half of Antibiotic Story. *Animal Nutrition & Health*, 1974. 29, 4-8.
10. Fuller R. Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 1989, 66, 365-378. doi: 10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x.

11. Кучерявий В. П. Стан структур органів травлення свиней при згодюванні бовілакту. Вісник Білоцерківського аграрного університету. Біла Церква, 2000. Вип. № 12. С. 69–74.
12. Fuller, R. 1994. Probiotics: an Overview. In: Gibson, S.A.W. (eds) Human Health. Springer Series in Applied Biology. Springer, London. doi: 10.1007/978-1-4471-3443-5\_4.
13. Ishibashi N, Yamazaki S. Probiotics and safety. Am J Clin Nutr. 2001 Feb; 73(2 Suppl):465S-470S. doi: 10.1093/ajcn/73.2.465s.
14. Paraniak, R., Kalyn, B., & Nahirniak, T. (2018). Value and feasibility of probiotic use. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences, 20(87), 116-121. doi: 10.15421/nvlvet8723.
15. Green DH, Wakeley PR, Page A, Barnes A, Baccigalupi L, Ricca E, Cutting SM. Characterization of two Bacillus probiotics. Appl Environ Microbiol. 1999 Sep;65(9):4288-91. doi: 10.1128/AEM.65.9.4288-4291.1999.
16. Lan R, Tran H, Kim I. Effects of probiotic supplementation in different nutrient density diets on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, fecal microflora and noxious gas emission in weaning pig. J Sci Food Agric. 2017 Mar;97(4):1335-1341. doi: 10.1002/jsfa.7871.
17. Perdigon G, Alvarez S, Rachid M, Agüero G, Gobbato N. Immune system stimulation by probiotics. J Dairy Sci. 1995 Jul;78(7):1597-606. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76784-4.
18. Socol, Carlos Ricardo, et al. The potential of probiotics: a review. Food Technology and Biotechnology 48.4. 2010: 413-434.
19. Holzapfel WH, Haberer P, Snel J, Schillinger U, Huis in't Veld JH. Overview of gut flora and probiotics. Int J Food Microbiol. 1998 May 26;41(2):85-101. doi: 10.1016/s0168-1605(98)00044-0.
20. Madsen K, Cornish A, Soper P, McKaigney C, Jijon H, Yachimec C, Doyle J, Jewell L, De Simone C. Probiotic bacteria enhance murine and human intestinal epithelial barrier function. Gastroenterology. 2001 Sep;121(3):580-91. doi: 10.1053/gast.2001.27224.
21. Sanz Y, De Palma G. Gut microbiota and probiotics in modulation of epithelium and gut-associated lymphoid tissue function. Int Rev Immunol. 2009;28(6):397-413. doi: 10.3109/08830180903215613.
22. Havenaar, R. and Huis in't Veld, J.H.J. (1992) Probiotics; A General Review' in the Lactic Acid Bacteria in Health and Disease. In: Wood, B., Ed., Elsevier, London, 151-170. doi: 10.1007/978-1-4615-3522-5\_6.
23. Stropfová, V., Lauková, A. & Ouwehand, A.C. Lactobacilli and enterococci – Potential probiotics for dogs. Folia Microbiol 49, 203–207 (2004). doi: 10.1007/BF02931403.

24. Mestecky, Jiri, et al., editors. *Mucosal Immunology*. 4th ed., Elsevier Academic Press, 2015. 2540.
25. Perdigon G, Alvarez S, Rachid M, Agüero G, Gobbato N. Immune system stimulation by probiotics. *J Dairy Sci*. 1995 Jul;78(7):1597-606. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76784-4.
26. Kyriakis S. C., Tsioliyannis V. K., Vlemmas J., Sarris K., Tsinas A. C., Alexopoulos C., Jansegers L. The effect of probiotic LSP 122 on the control of post-weaning diarrhoea syndrome of piglets. *Research in Vet. Sci*. 1999. Vol. 67 (3). P. 223-228.
27. Ishibashi N, Yamazaki S. Probiotics and safety. *Am J Clin Nutr*. 2001 Feb; 73(2 Suppl):465S-470S. doi: 10.1093/ajcn/73.2.465s.
28. Casula G, Cutting SM. *Bacillus* probiotics: spore germination in the gastrointestinal tract. *Appl Environ Microbiol*. 2002 May; 68(5):2344-52. doi: 10.1128/AEM.68.5.2344-2352.2002.
29. Жила М. І. Порівняльна оцінка фармакологічних властивостей пробіотичних препаратів при їх клінічному випробуванні. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Ґжицького*. 2014. Т. 16, № 3 (60). Ч. 2. С. 99–105.
30. Link, R., Kováč, G. The effect of probiotic BioPlus 2B on feed efficiency and metabolic parameters in swine. *Biologia* 61, p 783–787 (2006). doi: 10.2478/s11756-006-0158-x.
31. Yang F, Hou C, Zeng X, Qiao S. The use of lactic Acid bacteria as a probiotic in Swine diets. *Pathogens*. 2015 Jan 27;4(1):34-45. doi: 10.3390/pathogens4010034.

**Information about the author:**

**Lemishevskiy Volodymyr Mykhailovych,**

Candidate of Veterinary Sciences,

Associate Professor at the Department of Normal and Pathological

Morphology and Forensic Veterinary Medicine

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine

and Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

## ХРОНІЧНА ХВОРОБА НИРОК У КОТІВ: МОРФОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА КЛІНІКО-ПАТОГЕНЕТИЧНІ МЕХАНІЗМИ

Морозенко Д. В., Вашик Є. В., Захар'єв А. В.

### ВСТУП

Хронічна хвороба нирок (ХНН) є найпоширенішою метаболічною хворобою домашніх котів, причому найчастіше хворіють коти літнього віку. Поширеність ХНН у котів перевищує поширеність у собак, і частота діагностики ХНН у котів зросла в останні десятиліття. Типові гістологічні ознаки включають інтерстиціальне запалення, атрофію канальців і фіброз із вторинним гломерулосклерозом. На відміну від людей і собак, первинні гломерулопатії з вираженою протеїнурією зустрічаються у котів надзвичайно рідко. Незважаючи на те, що існує низка первинних захворювань нирок, ця хвороба є ідіопатичною у більшості котів. Тубулоінтерстиціальні зміни, включаючи фіброз, присутні на ранніх стадіях ХНН у котів і стають більш серйозними на пізніх стадіях захворювання. Різноманітність факторів, включаючи старіння, ішемію, супутні захворювання, перенасичення фосфором і регулярні щеплення вважаються факторами, які можуть сприяти розвитку цього захворювання у котів<sup>1</sup>. Під час прогресування ХНН інфільтрація нирок макрофагами призводить до тубулоінтерстиціального фіброзу. Схема розподілу макрофагів, що проникають у нирки, є унікальною у котів і може бути пов'язана зі специфічним для kota фіброзним процесом у нирках, що відіграє важливу роль у прогресуванні ХНН<sup>2</sup>.

Також відомо, що розрідження капілярів (зменшення розміру і відсоткової площі) наявне в нирках котів із ХНН і позитивно корелює з нирковою дисфункцією та гістопатологічними ураженнями<sup>3</sup>.

Останнім часом також широко обговорюється питання ролі морбілівірусу котів (FeMV), відкритого у 2012 році, у розвитку ХНН.

---

<sup>1</sup> Brown C.A., Elliott J., Schmiedt C.W., Brown S.A. Chronic Kidney Disease in Aged Cats: Clinical Features, Morphology, and Proposed Pathogenesis. *Vet. Pathol.* 2016. 53(2). P. 309–326. DOI: 10.1177/0300985815622975. Epub 2016 Feb 11.

<sup>2</sup> Ohara Y., Yabuki A., Nakamura R., Ichii O., Mizukawa H., Yokoyama N., Yamato O. Renal Infiltration of Macrophages in Canine and Feline Chronic Kidney Disease. *J Comp Pathol.* 2019. 170. P. 53–59. DOI: 10.1016/j.jcpa.2019.05.006. Epub 2019 Jun 18.

<sup>3</sup> Paschall R.E., Quimby J.M., Cianciolo R.E., McLeland S.M., Lunn K.F., Elliott J. Assessment of peritubular capillary rarefaction in kidneys of cats with chronic kidney disease. *J Vet Intern Med.* 2023. 37(2). P. 556–566. DOI: 10.1111/jvim.16656. Epub 2023 Feb 17.

Патологічні зміни в нирках котів, пов'язані з антигенами FeMV, включали ті, що типово зустрічаються при хронічних захворюваннях нирок, такі як інфільтрація інтерстиціальних клітин, гломерулосклероз, атрофія каналців і фіброз<sup>4</sup>. Отже, важливо відзначити, що існує потенційний зв'язок між інфекцією FeMV і захворюваннями нирок котів, такими як тубулоінтерстиціальний нефрит і ХХН, що, як відомо, значно впливає на здоров'я та виживання котів<sup>5</sup>.

Таким чином, можна вважати актуальним вивчення питань морфології нирок котів за ХХН для встановлення комплексу змін у каналцях та клубочках нирок з метою більш чіткого розуміння клініко-патогенетичних механізмів розвитку нефропатології.

### **1. Матеріали, методи та мета проведення досліджень**

Дослідження проводилось на базі кафедри ветеринарної медицини та фармації Національного фармацевтичного університету (м. Харків), а також ветеринарної клініки Terra VET м. Харкова упродовж 2019–2022 р. Всі тварини були обстежено клінічними, лабораторними та інструментальними методами, тваринам було встановлено діагноз «Хронічна хвороба нирок» 4 стадії за IRIS (International Renal Interest Society). Незважаючи на проведення терапевтичних заходів, всі тварини загинули. Терапевтичні заходи проводились згідно принципів та стандартів доказової медицини на основі клінічних протоколів British Small Animal Veterinary Association (BSAVA). Всі маніпуляції відповідали вимогам «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах» (Київ, 2001), є узгодженими з положеннями Європейська конвенція про захист хребетних тварин, що використовуються для наукових експериментів або в інших наукових цілях (Страсбург, 1986), відповідають Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (2006 р.) та Директиві 2010/63/ЄС «Про захист тварин, що використовуються в наукових цілях». Після загибелі у тварин було вилучено нирки для гістологічного дослідження.

Всього були досліджені нирки 4-х тварин. Фіксація нирок проводилась в 10 % розчині формаліну, далі проводили заливання в целюлозний-парафін. Забарвлення зрізів виконували за гематоксиліном та еозинном (Г+Е), пікрофуксином за Ван-Гізоном (П за ВГ) та проводили Pas-реакцію. Мікроскопію і фотографування гістологічних препаратів нирок проводили за допомогою мікроскопу з двома окулярними

---

<sup>4</sup> Sutummaporn K., Suzuki K., Machida N., Mizutani T., Park E.-S., Morikawa S., Furuya T. Association of feline morbillivirus infection with defined pathological changes in cat kidney tissues. *Vet Microbiol.* 2019. 228: P. 12–19. DOI: 10.1016/j.vetmic.2018.11.005. Epub 2018 Nov 15.

<sup>5</sup> Choi E.J., Ortega V., Aguilar H.C. Feline Morbillivirus, a New Paramyxovirus Possibly Associated with Feline Kidney Disease. *Viruses.* 2020. 1; 12(5): P. 501. DOI: 10.3390/v12050501.



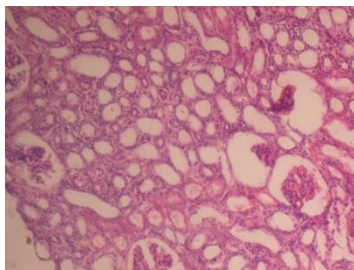
тубусами і додатковим оптичним портом, до якого підключали фотоапарат.

Автори висловлюють щирю подяку Навчально-науковому інституту прикладної фармації Національного фармацевтичного університету та особисто кандидату біологічних наук, старшому науковому співробітнику, біологу-цитологу Лар'яновській Юлії Борисівні за допомогу у проведенні досліджень.

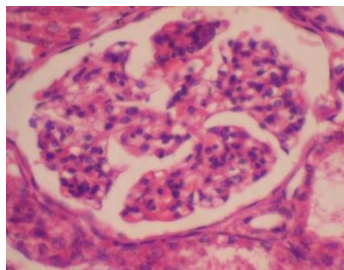
**Метою дослідження** було встановити патогістологічні зміни в нирках котів за хронічної хвороби нирок та провести їх оцінку з метою визначення клініко-патогенетичних механізмів розвитку нефропатології.

## **2. Морфологічна характеристика нирок котів за хронічної хвороби нирок**

**Клінічний випадок № 1.** Кіт, метис, вік 14 років. У кірковій речовині частина клубочків зморщена, малюнок капілярних петель не виразний, просвіт капсули збільшений. У частині клубочків відзначено сегментарну проліферацію мезангіальних клітин, клубочок має лопатеву форму (рис. 1).



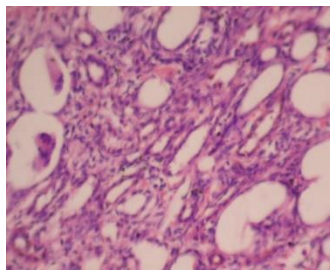
**А**



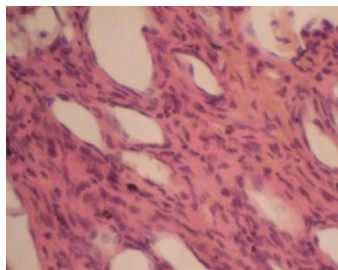
**Б**

**Рис. 1. А. Гломерули зморщені, просвіт капсули ниркових клубочків розширений, склероз стромы, атрофія нефротелію каналців ( $\times 100$ ). Б. Сегментарна проліферація мезангіальних клітин, лопатева форма клубочка. ( $\times 250$ ). Забарвлення Г+Е.**

У стромі кіркової речовини – дифузний склероз, гіаліноз, різного ступеня вираженості тубулогідроз і атрофія нефротелію каналців (рис. 2).



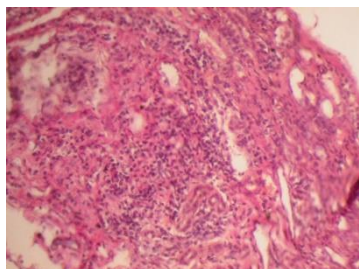
**А**



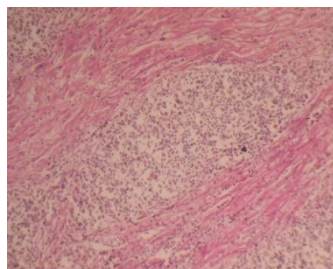
**Б**

**Рис. 2. Склероз строми кіркової речовини:  
А – забарвлення Г+Е (×100); Б – П за ВГ (×250)**

У кровоносних судинах стінка потовщена, розпушена, подекуди видно крововиливи. В інтерстиції окрім склерозу видно клітинні інфільтрати, які складаються з лімфоцитів, плазматичних клітин та еозинофілів. Місцями це не просто клітинні інфільтрати, а цілі фокуси клітинних скупчень. Деякі такі фокуси «роз'їдені» пучками колагенових волокон (рис. 3).



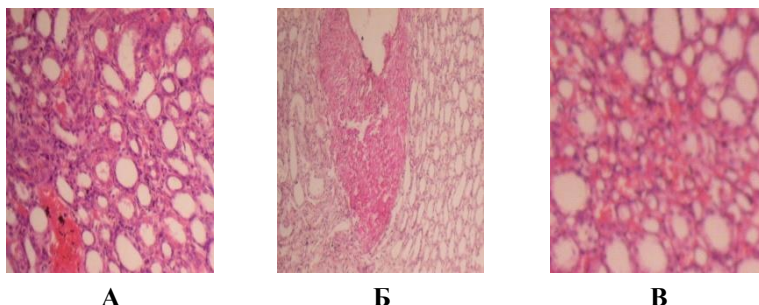
**А**



**Б**

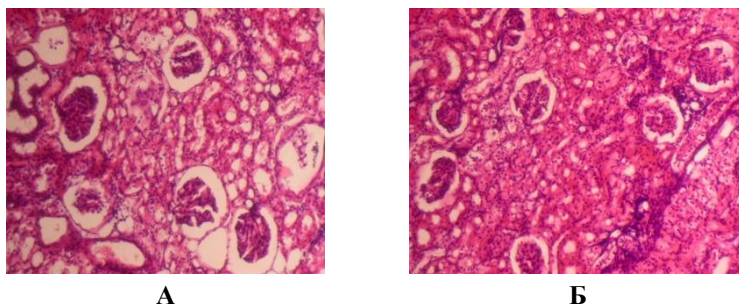
**Рис. 3. Клітинні інфільтрати у строми (А. Забарвлення Г+Е);  
колагенові волокна в клітинних інфільтратах  
(Б. Забарвлення П за ВГ). ×100**

У мозковій речовині нирки строма набрякла з осередками склерозу, клітинними інфільтратами, дистрофією нефротелю, тубулогідрозом, повнокров'ям артеріол та діapedезними крововиливами (рис. 4).



**Рис. 4. Мозкова речовина нирки: сплющення нефротелію, крововиливи (А – забарвлення Г+Е); ділянки склерозу (Б – П за ВГ); повнокров'я та крововиливи (В – Г+Е). ×100**

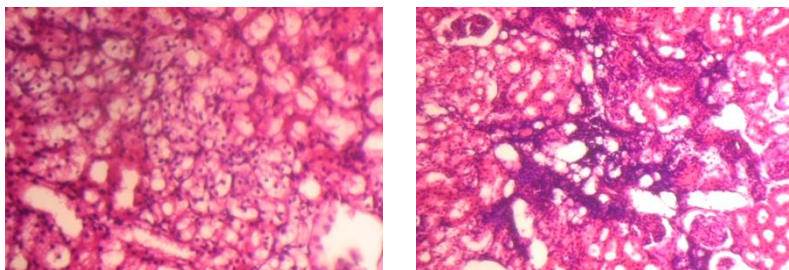
**Клінічний випадок № 2.** Кішка, метис, вік 12 років. Капсула нирки не змінена, диференціація на кіркову та мозкову речовину досить чітка. Ниркові тільця неоднакові за розміром, більшість ниркових клубочків або відносно невеликі, або звичайні за розміром, малюнок гломерулярних капілярних петель у них невиразний, ядерна насиченість дещо підвищена. Просвіт капсули через невеликі розміри самих клубочків візуально збільшений, при звичайних розмірах клубочків – нормальний. У частині ниркових тілець у просвіті капсули видно білкові маси (рис. 5).



**Рис. 5. Ниркові клубочки: рисунок капілярних петель невиразний, просвіт капсули візуально збільшений (А), звичайний (Б). Дистрофія канальців. Г+Е. ×100**

Стан канальців кіркового шару різноманітний. Частина канальців характеризується вираженим набуттям нефротелію, відсутністю просвіту, в інших канальцях превалює вакуолізація цитоплазми епітеліальних клітин, часто з дезорганізацією рисунка ниркового

канальця. Усе це значною мірою порушує «стрункість» рисунка канальцевої системи кіркової речовини нирок. Осередково відзначені круглоклітинні інфільтрати в стромі кори (рис. 6).

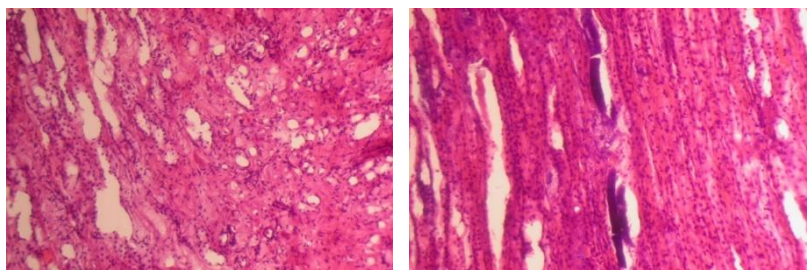


А

Б

**Рис. 6. Канальці коркового шару: вакуолізація та дезорганізація нефроцитів. Г+Е. (×200). Запальна круглоклітинна інфільтрація у стромі кіркової речовини. Г+Е. (×100)**

У мозковому шарі обох нирок – виражений склероз, набряк сполучної тканини, в ділянці ниркового сосочка в просвіті сосочкових протоків видно окремі мікроліти (рис. 7).



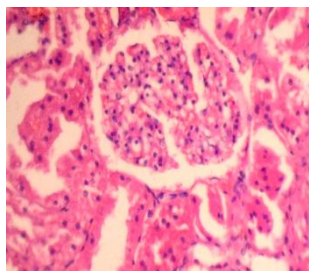
А

Б

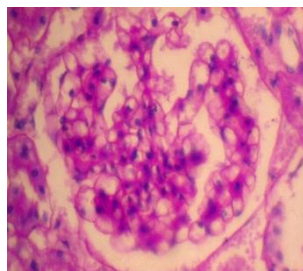
**Рис. 7. Склероз мозкового шару (А), мікроліти у просвіті сосочкової протоки (Б). Г+Е. ×100**

**Клінічний випадок № 3.** Кішка, сибірська, 14 років. На обох нирках капсула не змінена, розподіл на кіркову та мозкову речовину виразний. Відзначено суттєву варіабельність у стані ниркових тілець. Частина ниркових тілець звичайна за розміром, рисунок капілярних петель виразний, капілярні петлі самі розкриті, еритроцити в них розташовані центрально. Проліферація мезангіальних та ендотеліальних клітин не

проглядається. У просвіті капсули клубочків пристінково видно невеликі за обсягом гомогенні еозинофільні маси з домішкою поодиноких епітеліальних клітин. При постановці Pas-реакції ці маси дають Pas-позитивне фарбування. Базальні мембрани гломерулярних капілярів переважно не змінені. Забарвлення пікрофуксином за Ван-Гізоном виявило слабке склерозування (потовщення стінки) окремих петель капілярів клубочка (рис. 8, 9).



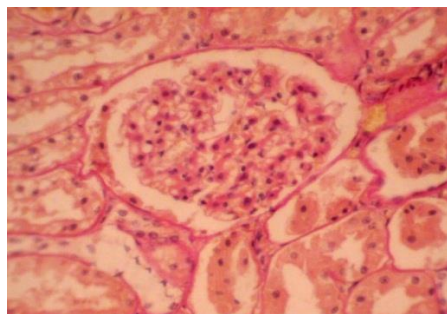
**А**



**Б**

**Рис. 8. Кіркова речовина нирки: нирковий клубочок звичайного розміру, малюнок капілярних петель виразний, стан базальної мембрани капілярів переважно в межах норми.**

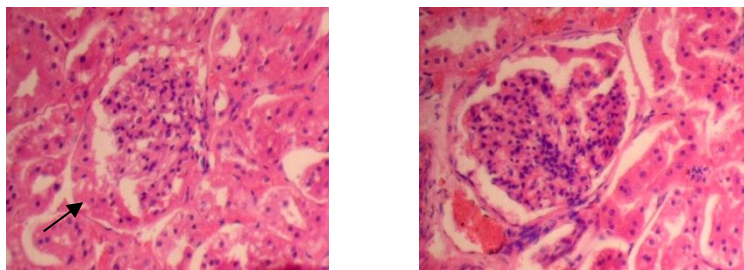
**А – Г+Е,  $\times 250$ ; Б – Pas-реакція.  $\times 400$**



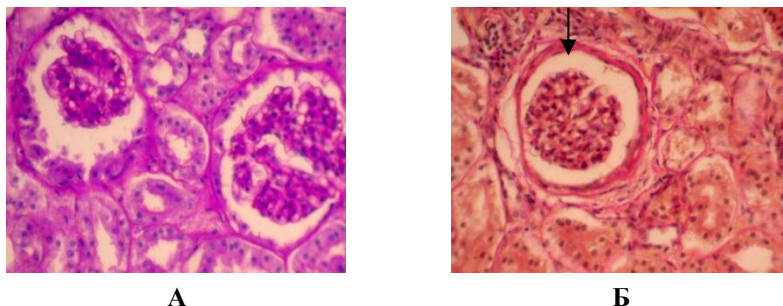
**Рис. 9. Кіркова речовина нирки: помірне склерозування стінки окремих капілярів клубочка. Забарвлення П за ВГ ( $\times 250$ )**

В частині ниркових клубочків ниркове тільце зменшено, рисунок капілярних петель менш виразний. Простежується відносно помірна ендотеліально-мезангіальна проліферація, обсяг гомогенних пристінкових мас з домішкою клітин пристінково в капсулі збільшений. Базальні мембрани частини капілярів потовщені, мезангіум осередково

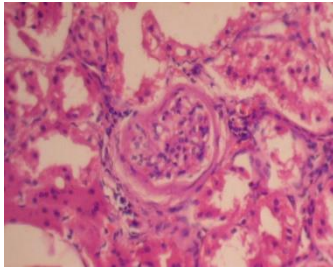
збільшено. Відзначено як склероз окремих капілярних петель, так і невеликий перигломерулярний склероз (рис. 10, 11), виражений склероз та гіаліноз (рис. 12).



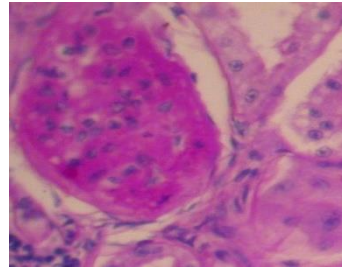
**Рис. 10.** Кіркова речовина нирки: різний ступінь мезангіально-ендотеліальної проліферації клубочка, нечіткість рисунка капілярних петель, різної виразності об'єм гомогенних мас пристінкових в капсулі (стрілка). Г+Е.  $\times 250$



**Рис. 11.** Кіркова речовина нирки: А – потовщення базальної мембрани та збільшення мезангіуму, збільшення об'єму примембранних мас у капсулі (Pas-реакція); Б – перигломерулярний склероз, склерозування частини капілярних петель клубочка (П за ВГ).  $\times 250$



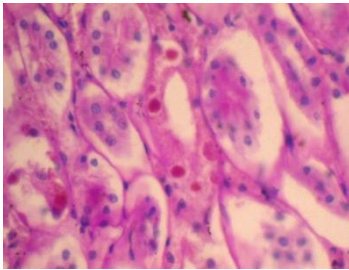
А



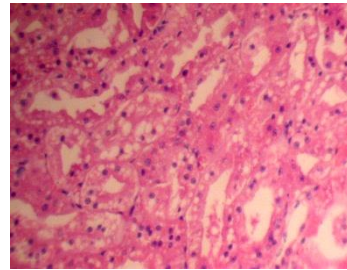
Б

**Рис. 12. Кіркова речовина: А – склерозування клубочка (Г+Е, ×250); Б – гіаліноз капілярів клубочка (Pas-реакція, ×400)**

З боку каналців кіркової речовини також виявлено різноманітні зміни. У досить значній частині каналців видно відрив епітелію від базальної мембрани. У поодиноких каналцях зазначено наявність гіалінових крапель, осередками виявляється вакуольна дистрофія. Загалом базальні мембрани каналців не змінені, але осередками відзначали гіаліноз базальних мембран та перитубулярний склероз. В інтерстиції кори виявлені поодинокі лімфоцитарні інфільтрати та дрібні осередки склерозу (рис. 13, 14).

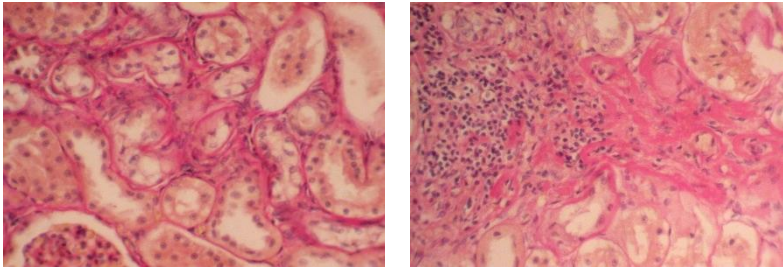


А



Б

**Рис. 13. Кіркова речовина нирки: А – гіалінові краплі в цитоплазмі нефроцитів окремих каналців (Pas-реакція, ×400); Б – вакуольна дистрофія нефроцитів (Г+Е, ×250)**



А

Б

**Рис. 14. Кіркова речовина нирки: перитубулярний склероз частини канальців (А), осередок склерозу, лімфоїдно-клітинний інфільтрат стромі (Б). П за ВГ. ×250**

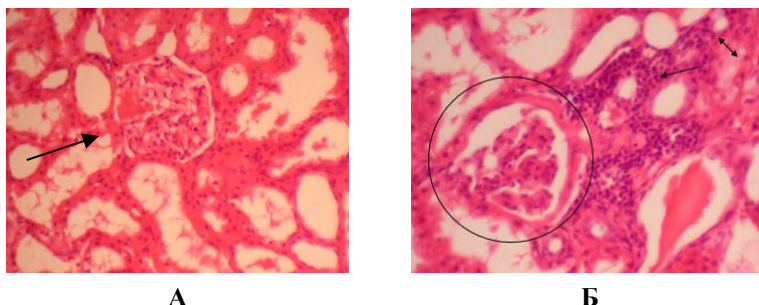
**Клінічний випадок № 4.** Кіт, метис, вік 10 років. Майже всі ниркові тільца в обох нирках тварини патологічно змінені. Незначна частина їх зберігає розмір та рисунок капілярних петель, при цьому відзначається «лапчастість» капілярних петель.

Частина ниркових клубочків як би зсунута до полюса клубочка, просвіт капсули клубочків збільшений. Більша ж частина ниркових тілець значно зменшена у розмірі, різною мірою гіалінізована, малюнок капілярних петель не помітний. Є ниркові тільца практично повністю склерозовані, в деяких проглядаються лише окремі склерозовані капілярні петлі. Дуже часто відмічено перигломерулярний склероз.

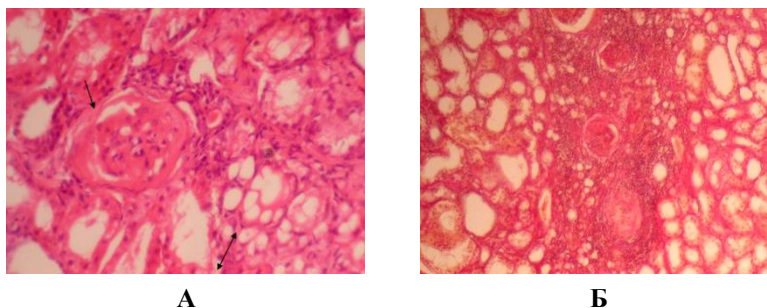
Нефротелій звивистих каналців нефронів дистрофічно змінено. Здебільшого це гідропічна дистрофія. подекуди зустрічаються ділянки з повною деструкцією нефротелію, здуттям клітин, відсутністю просвіту каналців. Тубулогідроз відносно помірний, нефротелій деяких каналців атрофований. Досить часто видно перитубулярний склероз.

У стромі кіркової речовини повсюдно, але особливо виразно в області мозкових променів проглядаються різні за розміром ділянки склерозу як сформованого, так і в процесі формування.





**Рис. 15. Кіркова речовина нирки: А – ниркове тільце звичайного розміру, рисунок капілярних петель невиразний, гіаліноз окремих ділянок петель; Б – лапчастість гломерулярних капілярних петель, невиразність рисунка петель, перигломерулярний склероз (овал), лімфо-гістіоцитарний інфільтрат у стромі (стрілка), дистрофія каналців (фігурна лінія). Г+Е, ×200**

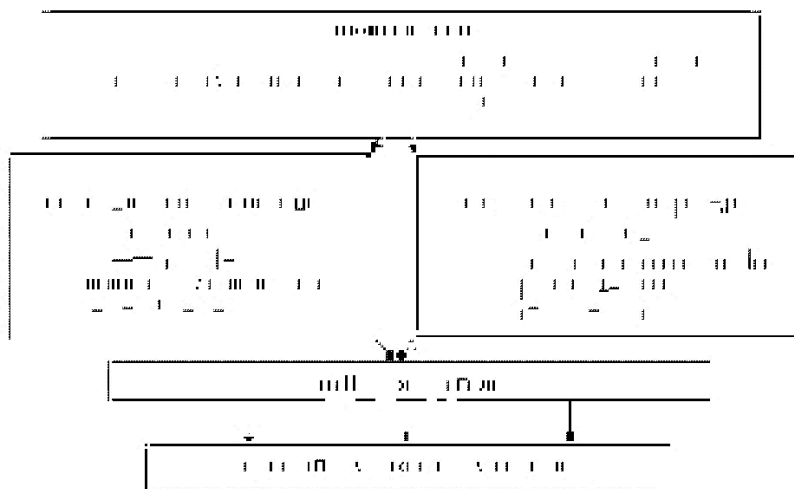


**Рис. 16. Кіркова речовина нирки: А – склероз, гіаліноз клубочка (стрілка), дистрофія каналців (фігурна лінія). Г+Е. ×200; Б – лімфо-гістіоцитарний інфільтрат у стромі, склероз ниркових тілець, перитубулярний склероз. П за ВГ. ×100**

### **3. Клініко-патогенетичні механізми хронічної хвороби нирок в котів**

Розвиток хронічної хвороби нирок відбувається поступово за розвитку та прогресуванню нефропатій різного генезу, зокрема, хронічного гломерулонефриту – запального захворювання ниркових клубочків, за якого розвивається протеїнурія, гематурія та циліндрурія, а також порушується водно-електролітний обмін; діабетичної нефропатії, яка виникає у котів на фоні цукрового діабету та супроводжується окисним глікозюванням тканин, зокрема, ниркових

клубочків, каналців, інтерстицію та судин нирок; інтерстиціального нефриту/піелонефриту, який спричиняється бактеріальними інфекційними агентами – стафілококами, стрептококами, кишковою паличкою тощо (рис. 17).



**Рис. 17. Клініко-патогенетичні механізми ХХН у котів**

У частини котів ХХН спричиняють такі специфічні патологічні процеси, як амілоїдоз, полікістоз нирок. Важливим фактором, який сприяє розвитку хронічної хвороби нирок, є уролітіаз, за якого уроліти відкладаються у тканинах нирок, порушуючи їх функції. Також як відомо на сьогодні однією з причин розвитку ХХН є морбілівірусна інфекція, збудник якої може спричиняти зміни в нирках, за яких вони втрачають свої основні функції.

Вищевказані нефропатії призводять до змін у нирках, які виявляються гістологічними методами на рівні ниркових клубочків (гломерулогліаноз, перигломерулярний склероз, нефроангіосклероз) та каналців (гіаліново-крапельна та гідропічна дистрофія, склероз ниркових каналців). Всі ці зміни призводять до розвитку ішемії нирок, що є одним із основних механізмів розвитку хронічної хвороби нирок у котів.

## **ВИСНОВКИ**

У клінічному випадку № 1 в нирках тварини було встановлено наступні зміни: гломерули зморщені, просвіт капсули ниркових клубочків розширений, склероз строми, атрофія нефротелію каналців,

сегментарна проліферація мезангіальних клітин, лопатева форма клубочків, склероз стромі кіркової речовини, клітинні інфільтрати у стромі, колагенові волокна в клітинних інфільтратах. У мозковій речовині нирки – сплюснення нефротелію, крововиливи, повнокров'я та ділянки склерозу.

У клінічному випадку № 2 в нирках тварини було встановлено наступні зміни: в ниркових клубочках рисунок капілярних петель невизначений, просвіт капсули візуально збільшений, дистрофія каналців. У каналцях коркового шару – вакуолізація та дезорганізація нефроцитів, запальна круглоклітинна інфільтрація у стромі кіркової речовини, склероз мозкового шару та мікроліти у просвіті сосочкової протоки.

У клінічному випадку № 3 в нирках тварини було встановлено наступні зміни: у кірковій речовині нирки нечіткість рисунка капілярних петель, стан базальної мембрани капілярів переважно в межах норми, проте спостерігалось помірне склерозування стінки окремих капілярів клубочка. Також відзначався різний ступінь мезангіально-ендотеліальної проліферації клубочків, нечіткість рисунка капілярних петель, різної виразності об'єм гомогенних мас пристінкових в капсулі, потовщення базальних мембран та збільшення мезангіуму, збільшення об'єму примембранних мас у капсулі (Pas-реакція), перигломерулярний склероз, склерозування частини капілярних петель клубочка, гіаліноз капілярів клубочка, гіалінові краплі в цитоплазмі нефроцитів окремих каналців, вакуольна дистрофія нефроцитів, перитубулярний склероз частини каналців та лімфоїдно-клітинна інфільтрація стромі.

У клінічному випадку № 4 в нирках тварини було встановлено наступні зміни: нечіткість рисунка та гіаліноз окремих ділянок капілярних петель, лапчастість гломерулярних капілярних петель, невизначеність рисунка петель, перигломерулярний склероз, лімфо-гістіоцитарні інфільтрати у стромі та дистрофія каналців, склероз, гіаліноз клубочка, дистрофія каналців, лімфо-гістіоцитарний інфільтрат у стромі, склероз ниркових тілець, перитубулярний склероз.

Всі вищевказані зміни в нирках котів за ХХН виникли в результаті прогресування хронічних нефропатій, які спричинили ішемію тканин нирок. В свою чергу, в основі розвитку ХХН котів полягають дегенеративно-дистрофічні та склеротичні зміни у паренхімі та стромі нирок, спричинені ішемією внаслідок прогресування нефропатій різного генезу.

## АНОТАЦІЯ

Хронічна хвороба нирок є найпоширенішою метаболічною хворобою домашніх котів, причому найчастіше хворіють коти літнього віку. Метою дослідження було встановити патогістологічні зміни в нирках котів за хронічної хвороби нирок та провести їх оцінку з метою визначення клініко-патогенетичних механізмів розвитку нефропатології. За хронічної хвороби нирок в котів виявляють наступні патогістологічні зміни: гломерулогіаліноз і гломерулосклероз різного ступені вираженості, розширення просвіту капсули ниркових клубочків, склероз строми, атрофія та/або дистрофія нефротелію каналців, сегментарна проліферація мезангіальних клітин, лопатева форма клубочків, склероз строми кіркової речовини, клітинні (переважно лімфо-гістіоцитарні) інфільтрати у стромі, колагенові волокна в клітинних інфільтратах. У мозковій речовині нирки спостерігається сплюснення нефротелію, крововиливи, повнокров'я та ділянки перитубулярного склерозу. Також спостерігається запальна круглоклітинна інфільтрація у стромі кіркової речовини, склероз мозкового шару та мікроліти у просвіті сосочкової протоки. Всі вищевказані зміни в нирках котів за хронічної хвороби нирок виникають в результаті прогресування хронічних нефропатій, які спричинили ішемію тканин нирок. В свою чергу, в основі розвитку хронічної хвороби нирок котів полягають дегенеративно-дистрофічні та склеротичні зміни у паренхімі та стромі нирок, спричинені ішемією внаслідок прогресування нефропатій різного генезу.

## Література

1. Brown C.A., Elliott J., Schmiedt C.W., Brown S.A. Chronic Kidney Disease in Aged Cats: Clinical Features, Morphology, and Proposed Pathogeneses. *Vet. Pathol.* 2016. 53(2). P. 309–326. DOI: 10.1177/0300985815622975. Epub 2016 Feb 11.
2. Ohara Y., Yabuki A., Nakamura R., Ichii O., Mizukawa H., Yokoyama N., Yamato O. Renal Infiltration of Macrophages in Canine and Feline Chronic Kidney Disease. *J Comp Pathol.* 2019. 170. P. 53–59. DOI: 10.1016/j.jcpa.2019.05.006. Epub 2019 Jun 18.
3. Paschall R.E., Quimby J.M., Cianciolo R.E., McLeland S.M., Lunn K.F., Elliott J. Assessment of peritubular capillary rarefaction in kidneys of cats with chronic kidney disease. *J Vet Intern Med.* 2023. 37(2). P. 556–566. DOI: 10.1111/jvim.16656. Epub 2023 Feb 17.

4. Sutummaporn K., Suzuki K., Machida N., Mizutani T., Park E.-S., Morikawa S., Furuya T. Association of feline morbillivirus infection with defined pathological changes in cat kidney tissues. *Vet Microbiol.* 2019. 228: P. 12–19. DOI: 10.1016/j.vetmic.2018.11.005. Epub 2018 Nov 15.

5. Choi E.J., Ortega V., Aguilar H.C. Feline Morbillivirus, a New Paramyxovirus Possibly Associated with Feline Kidney Disease. *Viruses.* 2020. 1; 12(5). P. 501. DOI: 10.3390/v12050501.

**Information about the authors:**

**Morozenko Dmytro Volodymyrovych,**

Doctor of Veterinary Sciences,  
Professor at the Department of Veterinary Medicine and Pharmacy  
National University of Pharmacy  
53, Pushkinska ave., Kharkiv, 61002, Ukraine

**Vashchyk Yevheniia Volodymyrivna,**

Doctor of Veterinary Sciences,  
Head of the Department of Veterinary Medicine and Pharmacy  
National University of Pharmacy  
53, Pushkinska ave., Kharkiv, 61002, Ukraine

**Zakhariev Andriy Viktorovych,**

Candidate of Veterinary Sciences,  
Associate Professor at the Department of Veterinary Medicine  
and Pharmacy  
National University of Pharmacy  
53, Pushkinska ave., Kharkiv, 61002, Ukraine

## THE TOXIC EFFECT OF CADMIUM ON THE ANIMAL BODY AND ITS PREVENTION

**Ostapyuk A. Yu., Gutiy B. V., Leskiv Kh. Ya., Shcherbatyi A. R.**

### INTRODUCTION

Cadmium compounds deserve special attention from researchers, as this element belongs to the first class of environmental hazards (Waalkes M. P., 2003). Furthermore, the widespread use of Cadmium in various industries led to a rapid increase in its content in soils (V. V. Horbenko, S. Yu. Starodubtsev, 2018). Both on the scale of Ukraine and in the world in recent years, it has been accompanied by the accumulation of Cadmium in feed. These contribute to the growing threat to the health of animals and poultry (Y. I. Honsky, 2008; G. L. Antonyak, 2010; 2010; Snitinsky V. V., 2019).

Cadmium is classified as a dangerous pollutant of the environment because it, due to toxic stress, causes various disorders of the functional state of the organism of animals and birds. Even in a small amount, the element mentioned above accumulates in various organs and tissues for a long time, which can cause toxicosis, accompanied by violations of biochemical processes, structure, and function of cells (Nazaruk N. V., Gufriy D. F., 2014). The toxicity of this metal depends on its type, solubility, and the presence of other biologically active substances. In addition, the response to the toxicant depends on the age, sex, and general condition of the organism of animals and birds.

The wide range of toxic effects of Cadmium on the poultry organism (Tsekhmistrenko C. I. et al., 2010; Vakhutkevich I. Yu., 2015; Zhukova I. O., 2017) necessitates an in-depth study of the pharmacotoxicological and biochemical processes underlying metabolic disorders caused by Cadmium and disorders of the vital functions of the bird's body. It is essential to find out the state of the protective systems of the bird's body under cadmium load.

The effect of Cadmium on the immune system and antioxidant potential has been studied to a greater extent in laboratory animals (Borgman R. F., 1986; Brzóska M. M., 2002; Pathak N., Khandelwal S., 2006; Gordienko V. V., 2014; Wang X., 2016; Apikhtina O. L., 2017), on ruminants (Gutiy B. V., 2013), however, information on the mechanisms of development of cadmium toxicosis in laying hens is fragmentary and requires detailed study. There are only isolated messages on this issue. The pharmacological and biochemical mechanisms of long-term cadmium exposure on metabolic processes, immune function, and antioxidant potential of the body of laying hens have not been elucidated, which determines the relevance of such studies.

It is also essential to discover the possibility of preventing and correcting metabolic disorders caused by Cadmium in the poultry body, particularly concerning laying hens.

### **1. Man-made pollution of the environment with Cadmium**

Recently, due to an increase in anthropogenic load, the environment has been polluted with heavy metal ions, one of which is Cadmium and its compounds. Cadmium is an element of group II of the periodic system of elements. The atomic number is 48. It was first discovered in zinc carbonate in 1817. The atomic weight is 112.40. Its natural isotopes are  $^{106}\text{Cd}$  (1.215%),  $^{108}\text{Cd}$  (0.875%),  $^{110}\text{Cd}$  (12.39%),  $^{111}\text{Cd}$  (12.75%),  $^{112}\text{Cd}$  (24.07%), radioactive  $^{113}\text{Cd}$  (12.26%),  $^{114}\text{Cd}$  (28.86%),  $^{116}\text{Cd}$  (7.58%)<sup>1</sup>.

This element does not belong to the physiologically necessary trace elements and belongs to the first class of danger<sup>2</sup>. The widespread use of Cadmium in minerals and its use in industrial production determines the gradual increase in the content of this element in the environment (air, soil, water). The prevalence of this element in igneous and sedimentary rocks does not exceed 0.3 mg/kg. It is concentrated in clay sediments and shales (0.22–0.30 mg/kg). Among igneous rocks, the primary rocks (basalts, gabbros) contain the maximum amount of Cadmium – 0.13–0.22 mg/kg<sup>3</sup>.

Unlike other environments, there is no possibility of quick cleaning in soils. Chemical pollutants can be stored in it for many years and, included in ecological chains, cause the long-term effect of toxicants<sup>4</sup>.

Wide use of Cadmium in various industries led to a sharp increase in its content in soils and plant and animal tissues. In Ukraine, E. Ya. Zhovynskiy, E. V. Sobotovych, A. I. Samchuk, and others studied the regularities of the distribution of heavy metals in soils. The problems of the distribution of Cadmium in the biosphere are devoted to the works of D. O. Semenov. He studied the mobility of Cadmium in the soils of the Left Bank Forest Steppe

---

<sup>1</sup> Плодиста Н. І., Осередчук Р. С. Основні шляхи забруднення агроєкосистем кадмієм та його вплив на організм тварин. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2010. Т. 12, № 3(4). С. 249–254.

<sup>2</sup> Добрянська Г. М., Мельник А. П., Янович Н. Є., Янович Д. О. Вміст кадмію та свинцю в гідроєкосистемі яворівського водосховища. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2015. Т. 17, № 1(2). С. 263–267.

<sup>3</sup> Gutyi V., Ostapiuk A., Kachmar N., Stadnytska O., Sobolev O., Binkevych V., Petryshak R., Petryshak, O. Kulyaba O., Naumyuk A., Nedashkivsky V., Nedashkivska N., Magrelo N., Golodyuk I., Nazaruk N., Binkevych O. The effect of cadmium loading on protein synthesis function and functional state of laying hens' liver. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2019. Vol. 9(3). P. 222–226.

<sup>4</sup> Грелюк С. В., Одноріг З. С., Ковальчук О. З. Дослідження вмісту важких металів у ґрунтах Іваничівського району Волинської області. *Вісн. Нац. ун-ту «Львів. Політехніка»*, 2016. № 841. С. 286–290.

and Steppe of Ukraine and its arrival in cereal crops<sup>5</sup>. L. O. Zhrebna, studied the effect of high levels of Cadmium contamination of chernozems azotized and typical for the arrival of these elements in plants<sup>6</sup>.

In the soils of Ukraine, in the territories where there are no sources of pollution, the content of Cadmium Cadmium (on average 1·10<sup>-5</sup>%), which is an order of magnitude lower than its content in plants, ranges between 0.01-2.5 mg/kg and, mainly, does not exceed 1 mg/kg. The soils of Ukraine have a high background content of gross Cadmium (0.3–0.8 mg/kg soil). In the forest-steppe and steppe soils, the amount of firmly fixed forms of this metal is, on average, 0.32 mg/kg. Chernozems have a hundred-thousandths of a percent. The humus layer of the soil has an increased content of this element compared to other genetic horizons. The content of mobile forms of Cadmium in the soils of the Forest Steppe and Steppe is, on average, 0.12 mg/kg, ranging from 0.1 to 0.35 mg/kg, and its content in the soils of the Polissia ranges from 0,1 to 0.3 mg/kg<sup>7</sup>.

The sources of Cadmium entering the environment are the use of phosphoric mineral fertilizers, limestone materials, vehicle emissions (tire rubber and lubricants contain Cadmium), as well as industrial and domestic sewage sludge, etc.. Approximately 52% of Cadmium enters the atmosphere due to the incineration or processing of products containing it. About 80% of anthropogenic cadmium emissions are related to the production of Lead, Zinc, Copper, and Cadmium. Approximately 45% of the total pollution caused by this element is due to the smelting of Cadmium from ores. Every year, up to 1,000 tons of Cadmium is released into the air from the flue gases of power plants and industrial boilers, and 0.3 thousand tons/per year from burning municipal waste and wood<sup>8,9</sup>.

In the soil solution, the metal is present as Cd<sup>2+</sup> and forms complex ions and organic chelates. The parent rocks are the main factor determining the element's content in soils without anthropogenic influence. In soil-forming

---

<sup>5</sup> Семенов Д. О. Рухомість кадмію в ґрунтах Лівобережного Лісостепу та Степу України та його транслокація до злакових культур і соняшнику: Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Харків, 2009.

<sup>6</sup> Жеребна Л. О. Вплив високих рівнів забруднення свинцем і кадмієм чорноземів опідзолених і типових на надходження цих елементів у рослини ячменю та кукурудзи : Автореф. дис. ... канд. біол. наук. Харків, 2003.

<sup>7</sup> Плодиста Н. І., Осередчук Р. С. Основні шляхи забруднення агроєкосистем кадмієм та його вплив на організм тварин. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2010. Т. 12, № 3(4). С. 249–254.

<sup>8</sup> Снітинський В., Дидів А. Вплив кадмію та свинцю на біохімічний склад буряку столового за використання різних систем удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Агрономія*, 2015. № 19. С. 21–25.

<sup>9</sup> Снітинський В., Хірівський П., Корінець Ю. Екологічна оцінка вмісту Пльомбуму та Кадмію в рослинному опаді та ґрунтах Яворівського національного природного парку. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Агрономія*, 2019. № 23. С. 5–10.



rocks, the average metal content is 0.15 mg/kg in clays, 0.08 mg/kg in loess and loess-like loams, and 0.03 mg/kg in sands. Cadmium mobility in the soil depends on the environment and redox potential<sup>10</sup>.

A significant amount of Cadmium enters the environment with combustion products. The content of this element in wood ash ranges from 2 to 30 mg/kg<sup>11</sup>, and in straw ash, it reaches 10 mg/kg. Significant cadmium pollution of the atmosphere, soil, and water occurs during forest fires. Since ash has an alkaline reaction, the Cadmium present in its composition is insoluble in water and poorly absorbed by plants. Still, it accumulates in the soil and becomes available to plants when acidified.

According to statistical data, the volume of waste generation containing Cadmium and its compounds is 31.5 tons annually in Ukraine<sup>12</sup>.

The Cadmium content in soils depends on the composition of the source rocks. The significant diversity is associated with the complex geological history of the territories development. The chemical composition of soil-forming rocks is determined by the chemical composition of the source rocks and depends on the conditions of hypergenic transformation<sup>13,14</sup>.

The level of soil contamination with this heavy metal in the direction of prevailing winds from highways, even at a distance of 130 m, is 40 parts per billion. At the same time, in non-contaminated areas, it is about 9 parts per billion<sup>15</sup>.

Metals of 10–30% of the total emission into the atmosphere spread over a distance of 10 km or more from the industrial enterprise. The combined pollution of plants is observed, consisting of the direct deposition of aerosols and dust on the surface of leaves and root assimilation of heavy metals, which accumulated in the soil during a long time of pollution from the atmosphere<sup>16</sup>.

---

<sup>10</sup> Цветкова Н. М., Гунько С. О. Корелятивна характеристика кадмію у ґрунтах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Біологія. Екологія*, 2015. Вип. 23(2). С. 190–196

<sup>11</sup> Aronsson K. A., Ekelund N. G. A. Biological effects of wood ash application to forest and aquatic ecosystems. *J. Environ. Qual.*, 2004. Vol. 33. P. 1595–1605.

<sup>12</sup> Гордієнко В. В. Особливості накопичення кадмію в організмі шурів різного віку за тривалої експозиції солі металу в дозах малої інтенсивності. *Клінічна та експериментальна патологія*, 2015. Т. 14, № 1. С. 40–43.

<sup>13</sup> Пархуць О. М., Снітинський В. В. Територіально-сезонний розподіл кадмію у ґрунті території, що прилягає до терикона шахти «Червоноградська». *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2012. Т. 14, № 3(2). С. 366–369

<sup>14</sup> Цветкова Н. М., Гунько С. О. Корелятивна характеристика кадмію у ґрунтах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Біологія. Екологія*, 2015. Вип. 23(2). С. 190–196

<sup>15</sup> Качмар Н. В., Дацко Т. М., Мазурак О. Т. Вплив іонів свинцю та кадмію на питому поверхню темно-сірого опідзоленого ґрунту. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2013. Т. 15, № 1(4). С. 62–67.

<sup>16</sup> Violante A., Cozzolino V., Perelomov L., Caporale A.G., Pigna M. Mobility and bioavailability of H.M. and metalloids in the soil. *J. Soil. Sci. Plant. Nutr.*, 2010. Vol. 10(3), 268–292

The mass percentage of Cadmium in the earth's crust is 5.0·10<sup>-5</sup>%. Clark Cadmium of the granite layer of the continental crust is 9.0·10<sup>-4</sup>%. Cadmium in soils is hundreds of times lower than that zinc. For example, the ratio of Zn: Cd in chernozems is 1000: 1. The maximum permissible concentration of Cadmium for soils is 1 mg/kg<sup>17</sup>.

Many factors determine the distribution of Cadmium on the soil surface and primarily depend on the characteristics of pollution sources, the region's meteorological characteristics, and the landscape's geochemical factors as a whole<sup>18</sup>.

According to the National Center of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, about 20% of the territory of Ukraine is contaminated with heavy metals, especially Cadmium. The sources of environmental pollution with Cadmium are electrotechnical, chemical-pharmaceutical chemical, machine-building, light industry, and non-ferrous metallurgy enterprises<sup>19</sup>.

Vehicle emissions cause a significant share of the cadmium contamination of soils located along highways. After the cessation of the factors that increase the content of this element, their concentration in the soil remains high for a long time due to the long term of removal<sup>20</sup>.

Soil pollution with Cadmium is considered one of the dangerous environmental phenomena because it accumulates in plants above the norm, even with minor soil pollution. The heavy metal quickly moves from the soil to plants, which absorbs up to 70% of it from the soil and only 30% from the air<sup>21</sup>. When Cadmium enters the soil, plants quickly absorb it, accumulating in them, crossing the plasma membrane, filling the central cylinder cells, and is deposited in plant cell walls.

Due to the toxic effect of the metal in plants, growth retardation, damage to the root system, and leaf chlorosis are observed. Cadmium quickly enters plants from the soil and atmosphere. In terms of phytotoxicity and the ability to accumulate in plants, it ranks first among heavy metals: Cd > Cu > Zn > Pb<sup>22</sup>.

---

<sup>17</sup> Жовинський Е. Я. Кураєва І. В. Геохімія важких металів в ґрунтах України. К. : Наукова думка, 2002. 213 с.

<sup>18</sup> Das S., Jana B. B. Istration pattern of ambient Cadmium in wetland ponds distributed along an industrial complex. *Chemosphere*, 2004. Vol. 55, № 2. P. 175–185.

<sup>19</sup> Ostapyyuk A. Y., Gutyj B. V. Influence of cadmium loading on morphological parameters of blood of the Laying Hens. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 2018. Vol. 20(88). P. 48–52.

<sup>20</sup> Ostapyyuk A. Y., Gutyj B. V. Influence of milk thistle, methifene and sylimevit on the morphological parameters of laying hens in experimental chronic cadmium toxicosis. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 2020. Vol. 3(1). P. 42–46.

<sup>21</sup> Chorna V. I., Voroshylova N. V., Syrovatko V. A. Cadmium distribution in soils of Dnipropetrovsk oblast and its accumulation in crop production. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018. Vol. 8(1), 910–917

<sup>22</sup> Цветкова Н. М., Гунько С. О. Корелятивна характеристика кадмію у ґрунтах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Біологія. Екологія*, 2015. Вип. 23(2). С. 190–196

Cadmium content in plants is ten-thousandths of a percent (10-4% on the dry matter). It enters plants less intensively in neutral and alkaline soils and much more in acidic soils. An excess of Cadmium in plants inhibits enzymes such as phosphatase, carbonic anhydrase, and dehydrogenase and contributes to the rupture of cell membranes and disruption of protein metabolism. Being an antagonist of Zinc, Cadmium causes a deficiency. As a result of the significant accumulation of Cadmium in them, redness and chlorosis of leaves, stems, and petioles are observed.

Characteristic signs of excess Cadmium in the plant body are membrane damage, changes in enzyme activity, and inhibition of root growth. All these changes cause many secondary effects, such as inhibition of photosynthesis, deficiency of mineral elements, hormonal imbalance, disruption of transport of assimilates, and change of the water regime, which delay the overall growth and development of the plant. Chlorophyll-protein complexes act as targets of heavy metal ions, in particular Cadmium<sup>23</sup>.

It is also worth noting that Cadmium accumulates in the minimum amount in legumes and cereals and the maximum amount – in lettuce, zucchini, and spinach. Wheat growing on contaminated land has an increased ability to accumulate this element. Cadmium concentration increases in root crops and vegetables. Green mass accumulates Cadmium during slow development – in spring and autumn<sup>24</sup>.

According to scientists, the concentration of Cadmium in plants tends to increase due to anthropogenic activity. The highest concentration of cadmium ions in the affected plants is mainly in the roots and slightly lower in the leaves and generative organs<sup>25</sup>.

When conducting a correlation analysis of chemical, ecological, and biological parameters of the surveyed areas, it was established that the concentration of Cadmium in the root has a probable positive correlation with the following indicators: the concentration of Cadmium in the leaves ( $r=0.72$ ;  $P<0.009$ ), the distance from the agricultural soil ( $r= 0.62$ ;  $P<0.03$ ), soil pH ( $r=0.64$ ;  $P<0.025$ ) and a negative correlation with exchangeable ammonium concentration ( $r=-0.72$ ;  $P<0.008$ ), distance from the highway ( $r=-0.84$ ;

---

<sup>23</sup> Кавулич Я., Бойко І., Кобилецька М., Терек О. Характеристика міцності зв'язку хлорофілу з білково-ліпідним комплексом у рослин пшениці за дії саліцилової кислоти та кадмій хлориду. *Біологічні системи*, 2013. Т. 5, Вип. 4. С. 471–474.

<sup>24</sup> Качмар Н. В., Форемна І. В., Дидів А. І. Особливості біологічного поглинання Кадмію рослинами ячменю ярого. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Сільськогосподарські науки*, 2018. Т. 20, № 84. С. 16–20.

<sup>25</sup> Борисюк Б. В., Журавель С. В., Залевський Р. А., Князева О. П. Особливості накопичення рослинами кадмію та свинцю залежно від норм добрив. *Агропромислове виробництво Полісся*, 2012. Вип. 5. С. 99–102.

$P < 0.0001$ ), humus concentration ( $g = -0.78$ ;  $P < 0.002$ ). In addition, the concentration of Cadmium<sup>26</sup>.

According to the literature, when the content of Cadmium in the soil is within the range of 5 mg/kg, the element mentioned above reduces the productivity of crops by 50%, and the half-life of Cadmium from the soil is 1100 years<sup>27</sup> [27].

In their research, N.M. Tsvetkova and S.O. Gunko established that the concentration of Cadmium in the natural soils of the Dnieper steppe primarily depends on the pH value of the environment, hygroscopic moisture, and humus, as the concentration of mobile Cadmium in the soil increases. High concentrations of Cadmium in the surface layer of the studied soils are associated with the arrival of this element from industrial or agrotechnical sources. For example, in the urbanized areas of the city of Dniprodzerzhinsk, the content of Cadmium in the soil was 3–25 times higher than the content of this element in natural soils<sup>28</sup>.

When the pH of the medium decreases, the solubility and, therefore, the mobility of Cd in the system solid phase of the soil – solution increases. Cadmium is the most mobile in acidic soils in the medium pH range of 4.5–5.5 units and is relatively immobile in alkaline conditions<sup>29</sup>.

O. E. Pakhomov and L. V. Grachova found that soil contamination with this heavy metal suppresses the development of soil microflora. It was established that after a month of exposure to Cadmium under experimental conditions, the total number of microflora decreased by 35.6%, and after 3 months – by 37.6%. Under these conditions, the number of saprophytic bacteria decreased by 16.1% after 1 month and by 13% after 3 months, oligonitrophils – by 23.8% and 41.0%, oligotrophs – by 33.2% and 30.7%, actinomycetes – by 30.2% and 56.3%, respectively<sup>30</sup>.

So, it became known from the literature that anthropogenic cadmium load can induce a complex of factors that can cause disturbances at almost all levels

---

<sup>26</sup> Романюк Б. П., Дубова Г. А., Фастова О. М., Дубова Ю. М. Вплив чинників екзогенного і ендогенного походження на накопичення кадмію фітомаркерною рослиною подорожник великий (*Plantago major* L.). *Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології*, 2010. Вип. 3. С. 26–29.

<sup>27</sup> Goering P. L., Waalkes M. P., Klaassen C. D. Toxicology of cadmium. In: *Toxicology of metals. Biochemical Aspects*. R. A. Goyer, M. G. Cherian (Eds.). *Handbook of Experimental Pharmacology*. New York: Springer-Verlag, 1995. Vol. 115. P. 189–214.

<sup>28</sup> Ostapjuk A. Y., Gutyj B. V., Hunchak V. M., Leskiv Kh. Ya., Khariv I. I., Vasiv R. O., Kamratska O. I. The effect of milk thistle, methiphen and silimevit on the vitamins a and e level in the blood of laying hens in experimental chronic cadmium toxicosis. *Colloquium-journal*, 2020, №30 (82), 17–20.

<sup>29</sup> Макаренко Н. О., Козій І. С. Визначення кадмію в ґрунтах урбанізованих територій і його вплив на здоров'я людини. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, 2012. Вип. 5(76). С. 123–125.

<sup>30</sup> Пахомов О. Є., Грачова Л. В. Вплив функціональної діяльності ссавців на ґрунтову мікрофлору лісових біогеоценозів в умовах забруднення ґрунту кадмієм. *Біорізноманіття та роль зооценозу в природних і антропогенних екосистемах: Матеріали II Міжнародної наукової конференції*. Дніпропетровськ: ДНУ, 2003. С. 236–237.

of biological organization. In the case of long-term exposure of Cadmium to the body of farm animals, their feed consumption decreases, as well as the milk productivity of dairy cows and body weight gain. Cadmium has cumulative properties since it does not have a negative effect immediately after the animal eats feed but gradually accumulates in the animal's body after some time.

## 2. Negative effects of Cadmium on the body of animals and birds

Cadmium poisoning in animals occurs when it enters the stomach or after inhalation into the respiratory tract<sup>31</sup>. When Cadmium enters the body of animals, it suppresses the activity of mitochondria, increasing the sensitivity of cells to free radical oxidation under these conditions<sup>32</sup>. Cadmium has a high migration speed and biochemical activity and is characterized by a polytropic toxic effect and the ability to accumulate in organs and tissues<sup>33</sup>. It should be noted that about 50% of absorbed Cadmium accumulates in the liver and kidneys<sup>34</sup>. Intensive inclusion of Cadmium in the tissues of the liver and kidneys is primarily associated with the high activity of biochemical processes occurring in these organs<sup>35</sup>.

A feature of the harmful effects of Cadmium is its rapid assimilation by the body and slow elimination. The negative effect of Cadmium covers different types of cells, but their sensitivity to the action of this element is not the same. The depth of cell damage is largely determined by the accumulated dose of Cadmium and the level of expression of metallothionein genes in them, which is affected by the aforementioned toxic element. Furthermore, the effects of Cadmium are manifested differently under the conditions of long-term and one-time entry into the body of animals<sup>36</sup>.

Cadmium accumulation in the body of animals and birds largely depends on the interaction with such elements as Ferrum, Zinc, Calcium, and Copper,

---

<sup>31</sup> Головкова Т. А. Екотоксикологічні аспекти впливу кадмію на організм людини. *Актуальні проблеми транспортної медицини: навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія*, 2018. № 1. С. 146–149

<sup>32</sup> Градович Н. І., Параняк Р. П., Забитівський Ю. М. Особливості накопичення Пломбуму та Кадмію в організмі білого товстолоба. *Біологія тварин*, 2015. Т. 17, № 4. С. 35–41.

<sup>33</sup> Нефьодова О. О., Білишко Д. В. Вплив важких металів на морфофункціональний стан печінки (огляд літератури). *Вісник проблем біології і медицини*, 2018. Вип. 1, Т. 2. С. 27–30.

<sup>34</sup> Грищенко В. А., Степанова Л. І., Хижняк С. В. Структурний стан мітохондріальної мембрани гепатоцитів за дії кадмію та його коригування. *Сучасні проблеми токсикології*, 2012. Т. 14, № 1-2. С. 513–517.

<sup>35</sup> Грищенко В. А., Томчук В. А., Хижняк С. В. Структурні зміни мембран мітохондрій ентероцитів тонкої кишки за дії Кадмію та при застосуванні ліпосом. *Біологія тварин*, 2012. Т. 14, № 1-2. С. 513–517.

<sup>36</sup> Антоняк Г. Л., Білецька Л. П., Бабич Н. О., Панас Н. Є., Жилищич Ю. В. Кадмій в організмі людини і тварин. І. Надходження до клітин і акумуляція. *Біол. студії*, 2010. Т. 4, № 2. С. 127–140.

which can occur at different stages of absorption, distribution in organs and tissues, as well as at the level of biological functions of cells<sup>37</sup>.

With excessive ecocidal influence, Cadmium easily migrates from feed into the body of animals. As a result, it has a high cumulative capacity, confirmed by its significant increase in fattening pigs' internal organs and tissues<sup>38</sup>.

The intracellular distribution of Cadmium is characterized by the same regularities in the cells of various organs and tissues (kidney, liver, intestine, pancreas). The cytosolic fraction contains almost 80% of the total cadmium content in the cell. The remaining cations of this metal are distributed between the nucleus and mitochondria of cells. It is worth noting that about 10% of Cadmium accumulates in mitochondria, 7% in the nucleus, and 4% in lysosomes and microsomes. The level of entry of Cadmium into other organelles is negligible<sup>39</sup>.

Metallothioneins play a central role in the metabolism of Cadmium in the organs and tissues of animals and birds. These are low molecular weight proteins that contain a significant number of sulfhydryl groups. Each molecule of metallothionein can attach seven molecules of Cadmium. In the tissues of animals and birds, Cadmium can be in the composition of metallothioneins or free form. However, it should be noted that only Cadmium, not bound to metallothioneins, is toxic to the body of animals and birds<sup>40</sup>.

After oral absorption, Cadmium is first transported through the portal vein to the liver and accumulates in hepatocytes, where it induces the synthesis of metallothioneins. Which, in turn, reduces the toxic effect of Cadmium in the kidneys and liver. The intensity of synthesis of metallothioneins in hepatocytes in response to the influx of cadmium ions is higher than in other cells. Manifestations of dystrophy, apoptosis, and inflammatory reaction represent histological changes in the liver during cadmium toxicosis. Dystrophic processes were manifested by hydropic dystrophy with vacuolization of the cytoplasm of hepatocytes in places up to focal colliquative necrosis<sup>41</sup>.

---

<sup>37</sup> Жилищич Ю. В. Панас Н. Є., Антоняк Г. Л. Вплив Кадмію на активність дегідрогеназ в еритроцитах кролів. *Біологія тварин*, 2011. Т. 13, № 1-2. С. 276–279.

<sup>38</sup> Шарандак П. В., Левченко В. І. Зниження негативного впливу сполук кадмію та плумбуму на функціональний стан печінки овець у Луганській області. *Науковий вісник ветеринарної медицини*, 2014. Вип. 13. С. 266–270.

<sup>39</sup> Lavtyshyn Y. Y., Gutyj B. V. (2019). Protein synthesise function of bulls liver at experimental chronic cadmium toxicity. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences*, 2019. Vol. 21(94). P. 92–96.

<sup>40</sup> Кропивка С. Й. Активність ферментів у крові телиць за згодовування солей селену, цинку і кадмію. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2010. Т. 12, № 3(2). С. 89–92.

<sup>41</sup> Слободян С. О., Гутій Б. В. Протеїнсинтезувальна функція та функціональний стан печінки шурів за тривалого кадмієвого та свинцевого навантаження. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки*, 2019, т 21, № 96. С. 141–146.

The mediated hepatotoxic effect of Cadmium is due to its activation of Kupffer cells, which triggers a cascade of biochemical processes involving many cytokines and inflammatory mediators<sup>42</sup>.

The toxic effect of Cadmium is most pronounced for the kidneys. The Cd-metallothionein complexes are transported to the kidneys, where they are almost entirely reabsorbed and rapidly degraded with the release of Cd ions, which may contribute to kidney damage. The basis of kidney damage is a violation of the activity of the proximal convoluted tubules, manifested by the excretion of enzymes (N-acetyl- $\beta$ -D-glucosaminidase, etc.) and low molecular weight proteins ( $\beta$ 2-microglobulin,  $\alpha$ 1-microglobulin) in the urine. Damage to tubules increases with long-term exposure to Cadmium and is accompanied by damage to other parts of the nephron. Cadmium causes nephron dysfunction in the kidneys, suppressing the reabsorption of amino acids and glucose. With severe cadmium toxicosis, kidney tubules' necrosis and impaired reabsorption of proteins, amino acids, glucose, bicarbonate, and calcium phosphate are detected<sup>43</sup>. Signs of kidney dysfunction are mostly manifested by the content of Cd<sup>2+</sup> in the cortical layer of the organ above 50  $\mu$ g/g, and in the urine –2.5  $\mu$ g/g of creatinine.

The greater sensitivity of the kidneys to the action of Cadmium, compared to other tissues of the body, is explained by the fact that the long-term intake of small amounts of this toxicant enables cells to convert it into a bound form. It is a very stable compound and can be broken down in small amounts only in the renal tubules<sup>44</sup>.

The conducted experimental studies on rats established that a single (12 mg/kg of body weight) and multiple (1.2 mg/kg for 10 days) administration of the toxicant mentioned above (corresponding to 1/5 LD 50 and 1/50 LD 50) revealed morphological changes in the liver and erythrocytes of experimental animals. In erythrocytes and soft tissues, Cadmium binds to  $\alpha$ 2-macroglobulin and albumin, after which it is quickly redistributed, mainly in the liver and kidneys. In addition, Divalent Cd has an affinity for hemoglobin<sup>45</sup>.

When Cadmium enters the internal organs of animals and birds with blood, it can be released from protein complexes and bind to other target molecules

---

<sup>42</sup> Pourahmand J., O'Brien P. J. A comparison of hepatocyte cytotoxic mechanisms for Cu and Cd. *Toxicology*, 2000. V. 143, N 3. P. 263–273.

<sup>43</sup> Антопяк Г. Л., Бабич Н. О., Білецька Л. П., Панас Н. С., Жиліщич Ю. В. Кадмій в організмі людини і тварин. II. Вплив на функціональну активність органів і систем. *Біол. студії*, 2010. Т. 4, № 3. С. 125–136.

<sup>44</sup> Barbier O., Jacquillet G., Tauc M., Cougnon M., Poujeol P. Effect of heavy metals on, and handling by, the kidney. *Nephron Physiol.*, 2005. Vol. 99 (4). P. 105–110.

<sup>45</sup> Нефьодова О. О., Білишко Д. В. Експериментальне визначення впливу хлориду кадмію при ізольованому введенні та в комбінації з цитратом селену на показники ембріогенезу щурів. *Вісник проблем біології і медицини*, 2018. Вип. 3. С. 301–305.

on the surface of cells or enter the cell thanks to the work of metal ion transporters, in particular the group of Zrt-/Irt-related proteins<sup>46</sup>.

I. A. Shepelova, co-authors, investigated the qualitative and quantitative content of amino acids in the liver of rats under conditions of cadmium sulfate poisoning. They established the peculiarities of the redistribution of the content of free amino acids under the conditions of damage by heavy metals, namely, the total content of free amino acids increased by 16.6%, against the background of a decrease in the content of aspartic and glutamic acids. Changes in the content of free amino acids were established, which indicates a violation of their metabolism due to the action of cadmium<sup>47</sup>.

Entering into competitive relationships with essential divalent metals, Cadmium blocks the active centers of enzymes. It binds to thiol groups of proteins, thereby exerting a toxic effect on metabolic processes in the body of animals and birds<sup>48</sup>.

Cadmium disrupts the transmission of signals in the nervous and endocrine links of the body's regulatory systems of animals and birds, inhibiting conditioned reflexes. Cadmium and its salts have a mutagenic effect, affect the heart, affect spermatogenesis, and reduce the efficiency of digestive enzymes. In addition, it suppresses the synthesis of several hormones, particularly insulin.

Pryshlyak A. M., with a co-author, found that the long-term effect of cadmium chloride on the body of white rats damaged many cardiomyocytes. Thus, the relative volume of damaged cardiomyocytes of the left ventricle in simulated pathological conditions probably increased by 21.8 times and in the right ventricle – by 163 times. During the histological examination of the heart chambers, full blood was noted mainly in the venous vessels and microvessels of the distal part of the microhemo-circulatory bed. In addition, hydropic dystrophy, foci of necrobiosis, and foci of cellular infiltration of the stroma were detected in cardiac muscle cells. The postcapillaries and venules noted their expansion, full blood, stasis, and perivascular edema. Under these conditions, the authors note that these changes dominated the left ventricle<sup>49</sup>.

The cadmium load on the body of pigs of the Vietnamese breed of cadmium chloride leads to pronounced remodeling of the heart chambers, characterized by uneven, unbalanced mass growth and dilatation. The latter's increase dominated,

---

<sup>46</sup> Назарук Н. В., Гутий Б. В., Гуфрій Д. Ф. Особливості перекисного окиснення ліпідів у крові бичків, уражених кадмієм та нітритами. *Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин і Державного науково-дослідного контрольного інституту ветпрепаратів та кормових добавок*. Львів, 2012. Вип. 13, № 3/4. С. 250–253.

<sup>47</sup> Шепельова І. А., Деркач Є. А., Мельникова Н. М. Вміст вільних амінокислот у печінці шурів, отруєних кадмієм. *Біологія тварин*, 2012. Т. 14, № 1. С. 352–355.

<sup>48</sup> Нечитайло Л. Я., Хопта Н. С. Вплив кадмієвої інтоксикації на біоелементний склад тканин і органів дослідних тварин. *Медицина і клінічна хімія*, 2011. Т. 13, № 4. С. 210.

<sup>49</sup> Пришляк А. М., Гнатюк М. С., Стахурська І. О. Інформаційний аналіз особливостей структурної перебудови шлуночків серця під впливом хлориду кадмію. *Тавричеський медико-біологічний вестник*, 2013. Т. 16, № 1(1). С. 202–205.



compared to the hypertrophy of parts of the heart muscle. It is also worth noting that hypertrophy of the left ventricle dominated in all experimental groups, which can be explained by its most excellent load in physiological conditions and the most apparent damage in conditions of simulated pathology. Histologically, pronounced vascular disorders, dystrophic, necrobiotic changes in cardiomyocytes, endotheliocytes, stromal structures, and infiltrative and sclerotic processes were found in the heart chambers<sup>50</sup>.

B. V. Gutyj studied the features of chronic and acute cadmium toxicosis in rats and young cattle. It was established that chronic cadmium toxicosis in rats was accompanied by a sharp decrease in the activity of the antioxidant defense system in the liver and the blood and an increase in the concentration of lipid peroxidation products. Furthermore, it was established that Cadmium ions accumulate in the order of decrease in the series: kidneys > brain > liver > heart > spleen > lungs. A decrease in the concentration of zinc and copper in the body tissues of experimental rats also accompanied the introduction of cadmium ions into the body of animals. In young cattle with cadmium toxicosis, the following clinical signs of poisoning were shown: a sharp decrease in feed intake, a decrease in body weight, slow growth of animals, impaired kidney function, liver dysfunction, proteinuria, and anemia. Investigating the state of the protective systems of the body of bulls under conditions of cadmium load, the researcher noted a significant decrease in the activity of enzymes of the glutathione system and ceruloplasmin<sup>51,52</sup>.

Many authors note fatty infiltration of the liver and kidneys for poisoning with cadmium compounds. In the case of chronic poisoning, hypertrophy of the heart was noted. In the parenchymal organs – areas of necrosis and the growth of connective tissue, hyperplasia of the spleen were shown. In the kidneys – an increase in the size of the glomeruli, swelling of the epithelium of the renal tubules, and degenerative changes in the kidney tissues were observed<sup>53</sup>.

When Cadmium enters the body of animals, it inhibits the formation of the hormonally active form of vitamin D3 (calcitriol) in the proximal renal tubules, which leads to a decrease in calcium absorption levels from the digestive tract. Cadmium significantly reduces the binding of gonadotropin, luteinizing, and follicle-stimulating hormones to ovarian membrane receptors,

---

<sup>50</sup> Гнатюк М. С., Котляренко Л. Т., Ружицька О. Ю. Морфологічні зміни клубової кишки при ураженні хлоридом кадмію. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*, 2012, № 2. С. 42–45.

<sup>51</sup> Гутій Б. В. Вплив хлориду кадмію на інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів та стан системи антиоксидантного захисту організму шурів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Ветеринарна медицина*, 2012, Вип. 7. С. 31–34.

<sup>52</sup> Гутій Б. В. Вплив хлориду кадмію у різних дозах на активність амінотрансфераз сироватки крові бугайців. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2013, Т. 15, № 1(1). С. 49–52.

<sup>53</sup> Goering P. L., Waalkes M. P., Klaassen C. D. Toxicology of cadmium. In: *Toxicology of metals. Biochemical Aspects*. R. A. Goyer, M. G. Cherian (Eds.). *Handbook of Experimental Pharmacology*. New York: Springer-Verlag, 1995. Vol. 115. P. 189–214.

resulting in the intensity of steroid hormone synthesis changes. Cadmium has a pronounced effect on the immune system of animals and birds. The short-term action of Cadmium increases the proliferation of leukocytes and the production of immunoglobulins<sup>54</sup>.

Thus, it was shown that Cadmium, when entering the body of animals, reduced the phagocytic activity of lung macrophages, caused suppression of the activity of N.K. cells, and suppressed the body's resistance to viral infections. Furthermore, it was established that Cadmium suppresses the proliferation of T- and B-lymphocytes disrupts the synthesis of immunoglobulins, and increases the titers of antinuclear antibodies, characteristic of an autoimmune reaction. After toxic exposure to Cadmium, the rate of proliferation of lymphocytes changes. In adult mice, the number of double negative (D.N.) (CD4-CD8-) and the number of double-positive (D.P.) (CD4 + CD8 +) LF. in the thymus increases during their maturation stage, Cd leads to OS. and apoptosis of thymocytes<sup>55,56</sup>, in a wide range of doses causes significant weight loss or atrophy of the thymus.

When entering the alimentary canal, Cadmium led to a decrease in *Lactobacillus*. It damaged the mucous membrane, which subsequently led to inflammation in the alimentary canal, which was reflected in an increase in the content of high-mobility proteins (HMGB1 molecules), SOD, CAT, and pro-inflammatory TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IFN- $\gamma$  and IL-17. In addition, in the mesenteric lymph nodes (MLN), a stress reaction was observed: an increase in the levels of glutathione (GSH) and metallothionein mRNA, stimulation of adaptive activity (increase in cellular, proliferation, pro-inflammatory CK IFN- $\gamma$ , and IL-17) and innate immune response (increase in the number of N.K., LF CD68 +, IL-1 $\beta$ )<sup>57</sup>.

The effect of cadmium chloride on the organism of experimental animals led to a pronounced morphometric restructuring of the structures of the ileum wall, namely, uneven changes in the thickness of the mucous, muscular, and serous membranes and the submucosal base of the ileum wall. Under the simulated pathology, organ and cellular structural homeostasis were significantly disturbed, the degrees of changes of which were correlated with pathohistological damage to the structures of the organ under study. During

---

<sup>54</sup> Демків І. Я. Вплив карнітину хлориду на показники імунітету та стан антиоксидантної системи у тварин із гострим отруєнням етиловим спиртом на фоні тривалої інтоксикації солями свинцю і кадмію. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Медицина*, 2008. Вип. 33. С. 44–49.

<sup>55</sup> Kim J., Sharma R. P. Cadmium-induced apoptosis in murine macrophages is antagonized by antioxidants and caspase inhibitors. *J. Toxicol. Environ. Health. A.*, 2006. V. 69, № 12. P. 1181–1201.

<sup>56</sup> Lavryshyn Y. Y., Gutyj B. V., Palyadichuk O. R., Vishchur V. Y. Morphological blood indices of the Bull in experimental chronic cadmium toxicosis. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 2018. Vol. 20(88), 108–114.

<sup>57</sup> Островська С. С., Шаторна В. Ф. Імунологічні аспекти впливу свинцю та кадмію на організм. *Вісник проблем біології і медицини*, 2017. Вип. 2. С. 20–25.

the histological examination of experimental animals' micro preparations of the ileum, perinatal hemorrhages, dystrophic and necrobiotic changes of epitheliocytes, endotheliocytes, stromal structures, and sclerotic and infiltrative processes were revealed<sup>58</sup>.

As a result of exposure to Cadmium on the body of sexually immature white rats, a structural rearrangement of all links of the hemomicrocirculatory channel of the jejunum was established, where the supply (arterioles, capillaries) and exchange (capillaries) links narrowed, and the venous part (postcapillaries, venules) expanded. The detected expansion of the venules of the microhemocirculatory channel of the jejunum during cadmium intoxication leads to a slowing down of blood flow and, therefore, to venous stasis and maintains a state of tissue hypoxia. In addition, it promotes swelling and leads to dystrophic, necrobiotic changes at all levels of the structural organization of the organ under study<sup>59</sup>.

Talokha N.I. and Kurtyak B.M. investigated that the addition of cadmium sulfate in the maximum permissible dose to the incubation medium containing cattle rumen under in vitro conditions suppresses the growth of microorganisms and their metabolic activity. It leads to a decrease in the ammonia and short-chain of fatty acids and a decrease in proteolytic, amylolytic, and cellulolytic activity<sup>60</sup>.

Chalai O. S.'s research on piglets showed that in these animals fed high doses of Cadmium, average daily gains, and final live weight decreased. At the same time, the live weight at the end of fattening decreased by 5.5% compared to the control, and the absolute gain during the experiment decreased by 7.6%, respectively<sup>61</sup>.

Yucesoy B. et al. established that chronic cadmium intoxication changed immunological reactivity and affected the synthesis of immunoregulatory cytokines<sup>62</sup>.

High doses of Cadmium reduce the body's resistance to bacterial and viral infections and suppress the cellular and humoral immune response. In contrast, relatively low doses, on the contrary, showed an immunostimulating

---

<sup>58</sup> Nazaruk N.V., Gutyj B.V., Gufrij D.F., Leskiv Kh. Ya., Ivashkiv R.M., Martyshuk T.V. (2021). The effect of methyphen and vitamix se on the level of products of bull lipid peroxide oxidation under nitrate-cadmium load. *Colloquium-journal*, 7(94), 16-18. doi: 10.24412/2520-6990-2021-794-16-18

<sup>59</sup> Котляренко Л. Т., Ружицька О. Ю. Морфофункціональні особливості гемомікроциркуляторного русла порожньої кишки дослідних тварин при отруєнні кадмієм хлоридом. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*, 2013. № 2. С. 114–116

<sup>60</sup> Талоха Н. І., Куртяк Б. М. Вплив свинцю, кадмію і хрому (vi) на життєдіяльність мікроорганізмів рубця великої рогатої худоби у дослідах in vitro при додаванні селеніту натрію та вітаміну Е. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2010. Т. 12, № 2(4). С. 299–303.

<sup>61</sup> Чалая О. С. Вплив токсичних доз кадмію та свинцю на ріст відгодівельних свиней. *Науково-технічний бюлетень*, 2013. № 109(2). С. 190–194.

<sup>62</sup> Yucesoy B., Turhan A., Ure M. et al. Effects of occupational lead and cadmium exposure on some immunoregulatory cytokine levels in man. *Toxicology*, 1997. V. 21, N 1-2. P. 143–147.

effect. The immunomodulating effect of Cadmium depends on its ability to compete for binding centers with the essential metal – zinc, which is contained in the thymus hormone. According to other assumptions, the immunotoxic effect of Cadmium may be due to its antagonism to Selenium, which is an immunomodulator that stimulates cellular and humoral immunity<sup>63</sup>.

Wang X. et al. found that CdSe/ZnS quantum dots increased the production of reactive oxygen species, decreased the viability of macrophages, stimulated apoptosis, decreased phagocytic activity, and released TNF- $\alpha$  and IL-6; in an in vivo experiment. Furthermore, the accumulation of quantum dots in the main immune organs of mice. A decrease in the viability of lymphocytes, an increase in the production of TNF- $\alpha$  and IL-6, and a reduction in the ability to transform in response to lipopolysaccharides were found<sup>64</sup>.

Thus, the basis of the immunotoxic effect of Cadmium is the violation of homeostatic mechanisms in the cell, which are caused by the inhibition of the antioxidant defense system, the increased production of reactive oxygen species, the development of oxidative stress, and the stimulation of lipid peroxidation processes, the violation of calcium homeostasis and signaling processes.

The mechanism of the immunotoxic action of Cadmium is due to the ability to stimulate lipid peroxidation and free radical damage to DNA, as well as, due to its affinity to the SH-groups of proteins, to cause changes in the functional activity and antigenic composition of the membranes of immunocompetent cells. Cadmium toxicity is associated with the element's ability to cause a hepatocyte membrane lipids peroxidase reaction<sup>65</sup>.

During long-term cadmium intoxication of white rats, the activation of lipid peroxidation processes in cat brain cells is observed, manifested in the increase in TBC-reactive products in myeloid cells and the total population of bone marrow cells throughout the experiment.

V.V. Gordienko established that with a prolonged 30-day intake of low doses of cadmium chloride (0.03 mg/kg) into the body of sexually immature animals, the system of antioxidant protection is activated, which ensures the reduction of pro-oxidant factors in the body. Furthermore, an increase in the amplitude, changes in the phase structure of the circadian biorhythm, and an increase in the measure of antioxidant defense enzymes (ceruloplasmin and

---

<sup>63</sup> Yiin S. J., Chern C. L., Sheu J. Y. Cadmium induced liver, heart, and spleen lipid peroxidation in rats and protection by Selenium. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2000. Vol. 78. P. 219–230.

<sup>64</sup> Wang X., Tian J., Yong K.T. Immunotoxicity Assessment of CdSe/ZnS Quantum Dots in Macrophages, Lymphocytes and BALB/c Mice. *J. Nanobiotechnology*, 2016. Vol. 14. P. 10.

<sup>65</sup> Іншина Н. М. Роль прооксиданта-вільного гему в механізмах гепатотоксичної дії хлоридів кадмію та меркурію. *Медицина хімія*, 2011. Т. 13, № 4. С. 169.

glutathione-S-transferase) indicate an adaptive and compensatory reaction of the body to long-term intake of low doses of metal<sup>66</sup>.

The research results by T. Bagdai, V. Snitinsky, and G. Antonyak indicate the activation of lipid peroxidation processes and adaptive changes in the enzymes of the antioxidant defense system in carp erythrocytes under the conditions of an increase in the content of cadmium cations in the water environment. The most pronounced changes in blood plasma and erythrocytes mainly occur in fish with Cd<sup>2+</sup> content five times higher than the maximum permissible concentration<sup>67</sup>.

Cadmium activates urease and arginase and inhibits cholinesterase. It also inhibits zinc absorption due to the interaction of cadmium and zinc ions at the level of transport systems.

Cadmium also accumulates in bone tissue. It causes oncological diseases, can increase mutagenic processes in the body, and lead to the destruction of the DNA chain and chromosomal aberrations. Cadmium entering the body violates the chemical composition of bone tissue, accompanied by the accumulation of this element and multidirectional changes in the content of Calcium, Magnesium, Zinc, and Copper. Under the combined effect of CdCl<sub>2</sub> and NaNO<sub>2</sub>, a femur structure violation is observed, indicating molecular changes in the bone tissue [68].

Cadmium entering the animal body leads to interaction with essential elements and components of bone tissue, which affects its metabolism, structure, and mechanical properties. Under the conditions of increased content of Cadmium, the processes of osteogenesis are disturbed<sup>68</sup>.

As a result of cadmium damage to the reabsorption function of the distal tubules of the nephrons, calcium is intensively excreted from the body, while the level of parathyroid hormone increases, which in turn stimulates the mobilization of calcium from the bones, contributing to the development of osteomalacia and osteoporosis<sup>69</sup>.

In vitro experiments using egg albumin as a protein preparation proved that Cadmium binds to carboxyl groups and with changes in pH to imidazole groups, which leads to an increase in the logarithm of the binding constant of Cadmium.

---

<sup>66</sup> Гордієнко В. В. Особливості циркадіанних біоритмів показників про/антиоксидантного гомеостазу в статевонезрілих шурів за тривалої дії низьких доз кадмію хлориду. *Медична хімія*, 2014. Т. 16, № 3. С. 33–37.

<sup>67</sup> Багдай Т., Снітинський В., Антоняк Г. Вплив кадмію на процес пероксидного окиснення ліпідів і стан антиоксидантної системи в клітинах крові коропа. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер: Агрономія*, 2013. № 17(2). С. 406–412.

<sup>68</sup> Ерстенюк Г. М., Герашенко С. Б., Хопта Н. С. Вплив хлориду кадмію та нітрату натрію на структурно-метаболичні процеси у кістковій тканині. *Досягнення біології та медицини*, 2011. № 2(18). С. 40–45.

<sup>69</sup> Jarup L., Akesson A. Current status of Cadmium as an environmental health problem. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 2009. Vol. 238(3). P. 201–208.

Cadmium hurts the thymus; in particular, it has been established that Cadmium leads to a significant increase in the level of ROS in the cells of the thymus and spleen with the subsequent development of mitochondrial membrane depolarization and depletion of glutathione, expressed by inhibition of the cellular proliferative response. In addition, morphological changes in cadmium toxicosis were characterized by cortical depletion of cells in the thymus, an increase in the red pulp, and a decrease in the white pulp of the spleen<sup>70</sup>.

Cadmium ions in concentrations of 0.025 and 0.05 mg/l during a 96-hour exposure in aquarium water lead to the redistribution of leukocytes between hematopoietic organs and peripheral blood. They decrease the percentage of neutrophil blasts in the kidneys (except for metamyelocytes, the number of which increases significantly) and spleens of fish and increase them in the blood. They increase the percentage content of eosinophilic and basophilic blasts in the kidneys and spleens and cause their absence in the blood. A tendency to decrease the number of mature forms of rod-shaped and segmented neutrophils in both blood and hematopoietic organs was also established, except for rod-shaped neutrophils in the kidneys, which significantly increased. The number of lymphocytes increased in the blood, kidneys, and spleen. The percentage of monocytes decreased in the kidneys and peripheral blood, and their number increased in the spleen<sup>71</sup>.

Notably, the most sensitive to large amounts of Cadmium are chickens, sheep, ducks, and pigs are somewhat more resistant. That is why the study of the pathogenesis of cadmium toxicosis in poultry and the development of preventive measures to prevent the development of this toxicosis are relevant.

### **3. Use of drugs and feed additives to prevent the harmful effects of heavy metals**

S. I. Tsekhmistrenko and T. S. Yaremchuk used the drug «Sel-Plex» for the simulated cadmium load of quails, which was fed to birds in the amount of 0.15 mg/kg of dry matter of feed. This drug contains organic forms of Selenium. These authors found that Sel-Plex, a selenium-containing preparation, prevents the development of intoxication with prolonged intake of cadmium compounds in the bird's body by increasing the antioxidant properties of quail liver tissue. Also, using the drug «Sel-Plex» in quail diets makes it possible to increase their antioxidant status in the liver and improve the assimilation of nutrients<sup>72</sup>.

---

<sup>70</sup> Pathak N., Khandelwal S. Role of Oxidative Stress and Apoptosis in Cadmium Induced Thymic Atrophy and Splenomegaly in Mice. *Toxicol. Lett.*, 2007. Vol. 169(2). P. 95–108.

<sup>71</sup> Дрогомирецька І. З., Мазепа М. А. Вплив іонів кадмію на лейкоцити периферичної крові та кровотворних органів коропа (*Cyprinus carpio L.*). *Рибогосподарська наука України*, 2009. № 4. С. 98–103.

<sup>72</sup> Цехмістренко О. С., Цехмістренко С. І., Девеча І. О., Пономаренко Н. В., Поліщук В. М., Яремчук Т. С. Вплив Сел-плексу та кадмієвого навантаження на ліпопероксидацію

Kalytovska M.B. and Galkevich I.Y., under cadmium loading, used clinoptilolite, an aluminosilicate with a skeletal structure containing channels and voids, which make up to 50% of the total volume of the mineral. They contain alkaline and alkaline-earth cations ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ), which compensate for the negative charge of the zeolite framework, as well as water molecules in a free and bound state. The influence of  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ , and  $Mg^{2+}$  ions on the sorption of Cadmium and Lead ions by modified clinoptilolite was investigated. The high degree of extraction of Cadmium and Lead ions from complex mixtures by this sorbent allows its use for the concentration of these metals from biological fluids<sup>73</sup>.

When used for corrective purposes, the zinc tyrosinate metal complex slows down lipoperoxidation in the body of rats exposed to Cadmium. This compound was synthesized at the Department of Medical Biochemistry and Clinical Laboratory Diagnostics of Ternopil State Medical University, named after I. Ya. Gorbachevsky from tyrosine and zinc hydroxide were taken in equimolar concentrations<sup>74</sup>.

When the experimental supplement was used in experimental pigs under cadmium load, a decrease in the content of Cadmium in the kidneys, liver, and meat by 61.3%, 36.6%, and 46.7%, respectively, was established. In addition, the experimental feed additive proposed by O.S. Chala and O.M. Mamenko contributed to the reduction of cadmium accumulation in the pigs' bodies compared to the experimental groups and reduced cadmium content in the longest back muscle to the maximum permissible level<sup>75</sup>.

The authors suggested using a liposomal form of a biologically active supplement (BAD FLP-MD) in case of cadmium intoxication. This supplement showed an excellent antioxidant effect due to the stabilization of cell structures and protection from peroxidic oxidation of phospholipids of cell membranes, which prevents the activation of free radical processes in cells. Using the biologically active additive FLP-MD under the conditions of Cadmium administration contributed to the stabilization of glutathione peroxidase activity for preparations of the mucous membrane of the small intestine and liver<sup>76</sup>.

---

в організмі птиці. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*, 2013. Вип. 9. С. 16–19.

<sup>73</sup> Калитовська М. Б., Галькевич І. Й. Вивчення впливу мікроелементів крові на процеси сорбції іонів кадмію та плумбуму модифікованим кліноптилолітом. *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики*, 2010. Вип. 23, № 4. С. 31–33.

<sup>74</sup> Кирилів М. В. Спосіб корекції активності фосфоліпази a2 та процесів ліпопероксидації у білих шурів за умов комбінованого ураження солями кадмію та кобальту. *Вісник проблем біології і медицини*, 2014. Вип. 1. С. 129–133.

<sup>75</sup> Чала О. С., Маменко О. М. Фактори та інтенсивність впливу на міграцію плумбуму та кадмію з кормів у організм свиней. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*, 2013. Вип. 15. С. 200–204.

<sup>76</sup> Хижняк С. В., Прохорова А. О., Грищенко В. А., Степанова Л. І., Сорокіна Л. В., Томчук В. А. Функціонування антиоксидантної системи шурів за дії кадмію. *Український біохімічний журнал*, 2010. Т. 82, № 4. С. 105–111

Gordienko V. V. with co-authors, used to prevent cadmium toxicosis, the phytocomposition «Polyphytol-1», which includes biologically active substances, namely: flavonoids, tannins, essential oils, catechins, saponins, trace elements. This phytocomposition significantly reduces the accumulation of Cadmium cations in the body of animals, especially in the kidneys and liver, which contributes to nephron– and hepatotoxicity. The basis of the mechanisms of the preventive effect of the drug «Polyphytol-1» in reducing the accumulation of Cadmium may be its ability to bind Cadmium ions and form stable chelate compounds, which reduces the bioavailability of ecotoxicants even at the stage of absorption in the digestive tract. The ability of the drug «Poliphytol-1» to complex formation, known hepatoprotective, positive polytropic effect and activation of the excretory function of the kidneys provide grounds for the use of the drug in complex pharmacotherapy and prevention of cadmium toxicosis<sup>77</sup>.

For treatment of ewes with cadmium intoxication

Sharandak P.V. and Levchenko V.I. used the following drugs: 10% glucose solution as energy material, in a dose of 200.0 ml; E-selenium – a preparation with antioxidant action for restoring the functions of hepatocytes, 1.0 ml each; Introvit – a complex vitamin preparation – 2.0 ml; Mineralol – a preparation based on zeolites, used as a mineral additive – 5.0 g. The complex use of Mineralol, vitamins, and glucose contributed to an increase in the blood serum of ewes with the impaired liver function of the total protein level by 4.6% due to the growth in the share of albumins by 6.1%. The aminotransferases activity decreased by 34.1 and 58.5%, respectively, compared to the indicators before the use of the complex of drugs, which indicates the restoration of the structure of hepatocytes. Also, complex treatment with drugs helped reduce gamma-glutamyl transpeptidase activity in ewes with impaired liver function by 60.3% and alkaline phosphatase – by 29.4% compared to the original data<sup>78</sup>.

Gutyj B.V. investigated the peculiarities of the course of chronic and acute cadmium toxicosis in rats and young cattle and also studied the pharmacodynamics of the drugs Hydrovit-E, E-selenium, and Mevesel on the activity of the antioxidant defense system and the level of aggressive products of lipid peroxide oxidation in chronic cadmium toxicosis. In addition, he investigated the effect of injectable Mevesel on the activity of the antioxidant defense system and the level of aggressive lipid peroxidation products formed after acute cadmium toxicosis. The Mevesel and Mevesel-injection

---

<sup>77</sup> Гордієнко В. В., Косу́ба Р. Б., Пере́пелиця О. О. Антиоксична та нефропротекторна дія фітокомпозиції «Поліфітол-1» за кадмієвої інтоксикації у молодих статевонезрілих шурів. *Клінічна та експериментальна патологія*, 2018. Т. 17, № 1. С. 35–42.

<sup>78</sup> Шарандак П. В., Левченко В. І. Зниження негативного впливу кадмію та плюмбуму на функціональний стан печінки овець у Луганській області. *Науковий вісник ветеринарної медицини*, 2014. Вип. 13. С. 266–270.



combination contributed to the triple protection of the cell against the action of aggressive free radicals. Namely, double protection of the cell membrane from both the outside and the inside and in the middle of the cell<sup>79</sup>.

Hidrovit-E is a water-soluble form of vitamin E. It has been established that introducing Hidrovit-E into the diet of animals and poultry allows for improved hematopoietic functions and optimizes the biochemical status of the blood of animals and poultry. Furthermore, the action of tocopherol is quite adequate because, despite its relatively low concentration in the cell membrane, the lipids and proteins of the membrane remain protected from oxidation and the action of exogenous active forms of oxygen.

When applying «E-selenium» to animals under cadmium load, the non-enzymatic link of the system of antioxidant protection of the bulls' body is activated, namely the level of vitamins A and E in the blood of these animals. Adding E-selenium to feed prevents the development of so-called oxidative stress<sup>80</sup>.

The drugs «Ursovit-ADES» and «Mevesel-injection» for acute cadmium toxicosis activate the enzyme glutathione system of antioxidant protection of the body of bulls, which is indicated by an increase in the activity of glutathione reductase, glutathione peroxidase, glucose-6-phosphate dehydrogenase, catalase, and superoxide dismutase.

From many antioxidants, N. Nazaruk studied the prophylactic effect of the drugs «Metifen» and «Vitamix-Se» in the case of nitrate-nitrite toxicosis with cadmium loading in bulls. These drugs block free radicals and prevent the development of oxidative stress in animals. The use of methiphen at a dose of 0.28 g/kg of compound feed and Vitamix Se at a dose of 0.3 g/kg of animal weight under conditions of loading calves with nitrates and Cadmium prevents the development of toxicosis and oxidative stress. Combined use of methiphen and Vitamix Se in animals contributes to better activating the antioxidant protection system of the bull's body<sup>81</sup>.

Prophylactic use of the ESMIN® trace element complex helps to increase the body's resistance to the toxic effects of heavy metals, including Cadmium, due to the increase in the synthesis of the metal transport protein metallothionein and the normalization of the ratio between toxic and essential

---

<sup>79</sup> Гутий Б. В. Вплив Урсовіту-Адес та Мевеселу ін'єкційного на ензимну ланку глутатіонової системи антиоксидантного захисту бичків за гострого кадмієвого токсикозу. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Ветеринарна медицина*, 2016. Вип. 6. С. 221–225.

<sup>80</sup> Гутий Б. В. Вплив Е-селену на вміст вітамінів А і Е у крові бичків за умов кадмієвої інтоксикації. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2013. Т. 15, № 3(3). С. 311–314.

<sup>81</sup> Леськів Х. Я. Вплив метіфену на активність антиоксидантної та імунної системи захисту організму поросят за нітратного навантаження. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Суми, 2012. Вип. 7 (31). С. 53–57.

heavy metals due to the accumulation of essential trace elements in the liver and kidneys<sup>82</sup>.

It has been shown that prior administration of tocopherol prevents changes in the activities of G-S-T and G.R. under the influence of cadmium chloride, which may indicate the role of free radical oxidation in the mechanisms of action of Cadmium on the indicated indicators. In addition, previous administration of tocopherol did not prevent an increase in the activity of G6FDH (up to 145% of the control), which may indicate a direct effect of cadmium ions on this enzyme.

When unitiol was administered 30 min before the administration of cadmium chloride to animals, it was established that unitiol prevents the induction of G-6-FDH after 24 hours, which may result from unitiol binding cadmium ions and weakening its direct effect on liver cells. It was previously proven that unitiol prevents hemolysis and the accumulation of TBC-active products in the blood serum of rats when cadmium chloride is administered. A specific value in maintaining G-6-FDH activity at the control level may be an earlier and long-lasting increase in G-S-T activity when cadmium chloride is introduced against the background of unitiol (after 2 hours – 145% of control), which may contribute to conjugation of free cadmium ions with their subsequent removal from liver cells<sup>83</sup>.

With the combined administration of selenium citrate and cadmium chloride, despite the presence of embryotoxic manifestations with the remote administration of Cadmium, we note an improvement in the indicators of embryonic development, which is manifested by an increase in the number of corpora lutea of pregnancy, live fetuses per 1 female and a decrease in the indicators of overall embryonic mortality.

When studying the combined effect of zinc citrate and cadmium chloride, it should be noted that the use of zinc citrate led to an average increase in the number of live fetuses per female by 16.2% ( $P < 0.01$ ), a relative decrease in total embryonic mortality by 2.2 times ( $P < 0.01$ ) compared to the cadmium chloride group due to a relative decrease in pre-implantation mortality by 2.5 times ( $P < 0.05$ ) compared to the cadmium chloride group<sup>84</sup>.

S. V. Portyanyk and O. M. Mamenko studied the effect of the biologically active drug «BP-9», antitoxic premix «MP-A» after intoxication with the most

---

<sup>82</sup> Пихтеева О. Г. Порівняння токсикокінетики та токсикодинаміки CdCl<sub>2</sub> та екзогенного комплексу кадмію з металотіонеїном при інтраперитонеальному введенні лабораторним мишам. *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*, 2013. № 3. С. 40–43.

<sup>83</sup> Бараннік Т. В. Активність ряду антиоксидантних ферментів і вміст відновленого глутатіону в печінці шурів при дії хлориду кадмію. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Біологія*, 2006. № 748, Вип. 4. С. 12–16.

<sup>84</sup> Нефьодова О. О., Задесенець І. П. Оцінка впливу кадмію хлориду на показники ембріогенезу шурів за умов корекції цитратом цинку при внутрішньобшлунковому введенні. *Вісник проблем біології і медицини*, 2018. Вип. 3. С. 309–314.

dangerous xenobiotics Cadmium and Lead on the quality and environmental safety of milk and the content of leukocytes in the blood of cows. Barberrry extract has a special role in this biologically active preparation. Chopped and dried leaves and fruits were used to prepare barberrry extract. The use of premix «MP-A» in feeding dairy cows according to the silage-hay-concentrate type and subcutaneous injection of the biologically active phytopreparation «BP-9» contributed to a gradual decrease in the content of Cadmium in blood and milk<sup>85</sup>.

In the case of cadmium intoxication, melatonin improves the kidneys' functional state, manifested in the increased rate of glomerular filtration, reduced degrees of retention nitrogenemia, and proteinuria. Melatonin is the most potent and versatile endogenous antioxidant, which is present in all cellular structures, including the nucleus. It is an active interceptor and neutralizer of free radicals – -OH, -OOH, O<sub>2</sub>·, NO·, ONOO·, which have a pronounced nephrotoxic effect<sup>86</sup>.

Yaremchuk T. S. with a co-author, applied to quails with cadmium toxicosis Sel-Plex – a source of organic Selenium, produced by special strains of yeast that are grown under controlled conditions in an environment enriched with Selenium and with a reduced content of Sulfur, due to which yeast uses Selenium instead of Sulfur in the process of forming cellular components, including squirrels. Based on the conducted experiments, the stimulating effect of Sel-Plex on the energy exchange processes in the liver cells of quails was revealed. Furthermore, under these conditions, it was established that the addition of Sel-Plex to the diet of quails at a dose of 0.15 mg/kg of dry compound feed under the influence of cadmium salts contributes to an increase in the content of inorganic phosphorus and creatine phosphate in the subcellular structures of quail livers<sup>87</sup>.

Kovalova I.V. investigated the effect of sodium selenite and phytonutrients «Fitohol» and «Fitopank» on heavy metals: Cadmium, Lead, Copper, and Zinc content in the body of laying hens. Phytosupplement «Fitopank» is a herbal preparation, which is a composition of seven 10% tinctures on 400% ethyl alcohol of separately taken parts of medicinal plants – the root of Black Sea rhubarb (*Rheum rhaponticum*), the herb of the three-leafed bean plant (*Menyanthes trifoliata*), the root of the high delusion (*Inula helenium*), the root of garden cockles (*Iris germanica*), fragrant dill (*Anethum graveolens*), medicinal sage (*Salvia officinalis*) and spotted hemlock (*Conium maculatum*) in the given ratio. Phytohol supplement is a complex preparation

---

<sup>85</sup> Портяник С. В., Маменко О. М. Вплив екстракту лікарських рослин на екскрецію надлишку кадмію і свинцю із організму дійних корів. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини*, 2015. Вип. 30(1). С. 228–234.

<sup>86</sup> Дікал М. В. Вплив мелатоніну на функціональний стан нирок щурів за умов токсичної дії хлориду кадмію. *Український біофармацевтичний журнал*, 2013. № 4. С. 77–79.

<sup>87</sup> Яремчук Т. С., Цехмістренко С. І., Цехмістренко О. С., Пономаренко Н. В. Вплив селену на обмін енергії в організмі перепелів за дії солей кадмію. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*, 2012. Вип. 7. С. 52–55.

containing plant derivatives and chemical substances: aqueous extracts of buckwheat grass (*Capsella bursa-pastoris*), helichrysum arenarium flowers, tansy flowers (*Tanacetum vulgare*), peppermint tincture (*Mentha piperita*) and medicinal valerian (*Valeriana officinalis*), as well as magnesium sulfate, sodium salicylate, hexamethylene tetramine, and glycerin. The use of sodium selenite and phytosupplements «Fitohol» and «Fitopank» in chickens contributed to a higher level of biochemical processes in the body<sup>88</sup>.

To prevent the toxic effects of Cadmium in poultry, Vakhutkevich I. Yu. and Gordiychuk L. M. used heat-activated zeolite in their research. As a result, it was established that the use of heat-activated zeolite for the elimination of Cadmium in chickens contributed to the normalization of total protein indicators and the ratio of its fractions, which is a consequence of reducing the toxic effect of Cadmium, as a result of which protein synthesis in the liver improves<sup>89</sup>.

### CONCLUSIONS

The accumulation of Cadmium in the components of the natural environment increases the danger of its entry into the body and threatens human and animal health. Analysis of the results of many experimental works indicates that in the body of animals, this heavy metal has a toxic effect on many organs and systems. The most dangerous are the carcinogenic and mutagenic effects of this element. The negative effect of Cadmium covers different types of cells, but their sensitivity to the action of the toxicant is not the same. The depth of damage to cells is primarily determined by the accumulated dose of Cadmium and the level of expression of metallothionein genes in them, which is affected by the toxic element.

### SUMMARY

The given literary data indicate that most scientific research in this direction, conducted both in our country and abroad, was conducted on laboratory animals. The study of biochemical mechanisms and toxic effects of cadmium toxicosis in poultry has not been sufficiently studied. Today, only a few works by domestic scientists are devoted to studying the effect of Cadmium on the bird's body, but many aspects of this problem are still not clarified. There is no complete and clear scientific information about the effect of Cadmium on the protective systems of the bird's body, namely on the immune and antioxidant systems.

---

<sup>88</sup> Ковальова І. В., Антоненко П. П. Динаміка змін продуктивних якостей курей за впливу селену та фітодобавок. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини: збірник наукових праць Харківської державної зооветеринарної академії*. Харків, 2018. Вип. 35, ч. 2, № 3. С. 145–150.

<sup>89</sup> Вахуткевич І. Ю., Гордійчук Л. М. Білковий обмін у курей за дії хрому та кадмію в раціоні з добавкою активованого цеоліту. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2015. Т. 17, № 1(2). С. 243–247.

Based on the results of a comprehensive assessment of the state of the defense systems of chickens, it is possible to reveal new scientific aspects of cadmium toxicosis both theoretically and practically, which will make it possible to develop effective prevention methods and treatment for chickens under conditions of cadmium intoxication.

Based on the analysis of literature data, the relevance of the chosen research direction and the need for further detailed study of chronic cadmium toxicosis in poultry have been confirmed.

### Bibliography

1. Плодиста Н. І., Осередчук Р. С. Основні шляхи забруднення агроєкосистем кадмієм та його вплив на організм тварин. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2010. Т. 12, № 3(4). С. 249–254.

2. Добрянська Г. М., Мельник А. П., Янович Н. Є., Янович Д. О. Вміст кадмію та свинцю в гідроєкосистемі яворівського водосховища. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2015. Т. 17, № 1(2). С. 263–267.

3. Gutyi B., Ostapiuk A., Kachmar N., Stadnytska O., Sobolev O., Binkevych V., Petryshak R., Petryshak, O. Kulyaba O., Naumyuk A., Nedashkivsky V., Nedashkivska N., Magrelo N., Golodyuk I., Nazaruk N., Binkevych O. The effect of cadmium loading on protein synthesis function and functional state of laying hens' liver. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2019. Vol. 9(3). P. 222–226.

4. Грелюк С. В., Одноріг З. С., Ковальчук О. З. Дослідження вмісту важких металів у ґрунтах Іваничівського району Волинської області. *Вісн. Нац. ун-ту «Львів. Політехніка»*, 2016. № 841. С. 286–290.

5. Семенов Д. О. Рухомість кадмію в ґрунтах Лівобережного Лісостепу та Степу України та його транслокація до злакових культур і соняшнику: Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Харків, 2009.

6. Жеребна Л. О. Вплив високих рівнів забруднення свинцем і кадмієм чорноземів опідзолених і типових на надходження цих елементів у рослини ячменю та кукурудзи : Автореф. дис. ... канд. біол. наук. Харків, 2003.

7. Плодиста Н. І., Осередчук Р. С. Основні шляхи забруднення агроєкосистем кадмієм та його вплив на організм тварин. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2010. Т. 12, № 3(4). С. 249–254.

8. Снітінський В., Дидів А. Вплив кадмію та свинцю на біохімічний склад буряку столового за використання різних систем удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Агронія*, 2015. № 19. С. 21–25.

9. Снітинський В., Хірівський П., Корінець Ю. Екологічна оцінка вмісту Плюмбуму та Кадмію в рослинному опаді та ґрунтах Яворівського національного природного парку. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Агрономія*, 2019. № 23. С. 5–10.
10. Цветкова Н. М., Гунько С. О. Корелятивна характеристика кадмію у ґрунтах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Біологія. Екологія*, 2015. Вип. 23(2). С. 190–196.
11. Aronsson K. A., Ekelund N. G. A. Biological effects of wood ash application to forest and aquatic ecosystems. *J. Environ. Qual.*, 2004. Vol. 33. P. 1595–1605.
12. Гордієнко В. В. Особливості накопичення кадмію в організмі щурів різного віку за тривалої експозиції солі металу в дозах малої інтенсивності. *Клінічна та експериментальна патологія*, 2015. Т. 14, № 1. С. 40–43.
13. Пархуць О. М., Снітинський В. В. Територіально-сезонний розподіл кадмію у ґрунті території, що прилягає до терикона шахти «Червоноградська». *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2012. Т. 14, № 3(2). С. 366–369.
14. Цветкова Н. М., Гунько С. О. Корелятивна характеристика кадмію у ґрунтах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Біологія. Екологія*, 2015. Вип. 23(2). С. 190–196.
15. Качмар Н. В., Дацко Т. М., Мазурак О. Т. Вплив іонів свинцю та кадмію на питому поверхню темно-сірого опідзоленого ґрунту. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2013. Т. 15, № 1(4). С. 62–67.
16. Violante A., Cozzolino V., Perelomov L., Caporale A.G., Pigna M. Mobility and bioavailability of H.M. and metalloids in the soil. *J. Soil. Sci. Plant. Nutr.*, 2010. Vol. 10(3), 268–292.
17. Жовинський Е. Я. Кураєва І. В. Геохімія важких металів в ґрунтах України. К. : Наукова думка, 2002. 213 с.
18. Das S., Jana B. B. Distribution pattern of ambient Cadmium in wetland ponds distributed along an industrial complex. *Chemosphere*, 2004. Vol. 55, № 2. P. 175–185.
19. Ostapyuk A. Y., Gutyj B. V. Influence of cadmium loading on morphological parameters of blood of the Laying Hens. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 2018. Vol. 20(88). P. 48–52.
20. Ostapyuk A. Y., Gutyj B. V. Influence of milk thistle, methifene and sylimevit on the morphological parameters of laying hens in experimental

chronic cadmium toxicosis. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 2020. Vol. 3(1). P. 42–46.

21. Chorna V. I., Voroshylova N. V., Syrovatko V. A. Cadmium distribution in soils of Dnipropetrovsk oblast and its accumulation in crop production. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018. Vol. 8(1), 910–917.

22. Цветкова Н. М., Гунько С. О. Корелятивна характеристика кадмію у ґрунтах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Біологія. Екологія*, 2015. Вип. 23(2). С. 190–196.

23. Кавулич Я., Бойко І., Кобилецька М., Терек О. Характеристика міцності зв'язку хлорофілу з білково-ліпідним комплексом у рослин пшениці за дії саліцилової кислоти та кадмій хлориду. *Біологічні системи*, 2013. Т. 5, Вип. 4. С. 471–474.

24. Качмар Н. В., Форемна І. В., Дидів А. І. Особливості біологічного поглинання Кадмію рослинами ячменю ярого. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Сільськогосподарські науки*, 2018. Т. 20, № 84. С. 16–20.

25. Борисюк Б. В., Журавель С. В., Залевський Р. А., Князева О. П. Особливості накопичення рослинами кадмію та свинцю залежно від норм добрив. *Агропромислове виробництво Полісся*, 2012. Вип. 5. С. 99–102.

26. Романюк Б. П., Дубова Г. А., Фастова О. М., Дубова Ю. М. Вплив чинників екзогенного і ендогенного походження на накопичення кадмію фітомаркерною рослиною подорожник великий (*Plantago major* L.). *Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології*, 2010. Вип. 3. С. 26–29.

27. Goering P. L., Waalkes M. P., Klaassen C. D. Toxicology of cadmium. In: Toxicology of metals. Biochemical Aspects. R. A. Goyer, M. G. Cherian (Eds.). *Handbook of Experimental Pharmacology*. New York: Springer-Verlag, 1995. Vol. 115. P. 189–214.

28. Ostapyuk A. Y., Gutyj B. V., Hunchak V. M., Leskiv Kh. Ya., Khariv I. I., Vasiv R. O., Kamratska O. I. The effect of milk thistle, methiphen and silimevit on the vitamins a and e level in the blood of laying hens in experimental chronic cadmium toxicosis. *Colloquium-journal*, 2020, №30 (82), 17–20.

29. Макаренко Н. О., Козій І. С. Визначення кадмію в ґрунтах урбанізованих територій і його вплив на здоров'я людини. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, 2012. Вип. 5(76). С. 123–125.

30. Пахомов О. Є., Грачова Л. В. Вплив функціональної діяльності ссавців на ґрунтову мікрофлору лісових біогеоценозів в умовах забруднення ґрунту кадмієм. *Біорізноманіття та роль зооценозу в природних і антропогенних екосистемах: Матеріали II Міжнародної наукової конференції*. Дніпропетровськ: ДНУ, 2003. С. 236–237.

31. Головкова Т. А. Екотоксикологічні аспекти впливу кадмію на організм людини. *Актуальні проблеми транспортної медицини: навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія*, 2018. № 1. С. 146–149.
32. Градович Н. І., Параняк Р. П., Забитівський Ю. М. Особливості накопичення Плюмбуму та Кадмію в організмі білого товстолаба. *Біологія тварин*, 2015. Т. 17, № 4. С. 35–41.
33. Нефьодова О. О., Білишко Д. В. *Вплив важких металів на морфофункціональний стан печінки (огляд літератури)*. *Вісник проблем біології і медицини*, 2018. Вип. 1, Т. 2. С. 27–30.
34. Грищенко В. А., Степанова Л. І., Хижняк С. В. Структурний стан мітохондріальної мембрани гепатоцитів за дії кадмію та його коригування. *Сучасні проблеми токсикології*, 2012. № 3-4. С. 35–38.
35. Грищенко В. А., Томчук В. А., Хижняк С. В. Структурні зміни мембран мітохондрій ентероцитів тонкої кишки за дії Кадмію та при застосуванні ліпосом. *Біологія тварин*, 2012. Т. 14, № 1-2. С. 513–517.
36. Антоняк Г. Л., Білецька Л. П., Бабич Н. О., Панас Н. Є., Жилищич Ю. В. Кадмій в організмі людини і тварин. І. Надходження до клітин і акумуляція. *Біол. студії*, 2010. Т. 4, № 2. С. 127–140.
37. Жилищич Ю. В., Панас Н. Є., Антоняк Г. Л. Вплив Кадмію на активність дегідрогеназ в еритроцитах кролів. *Біологія тварин*, 2011. Т. 13, № 1-2. С. 276–279.
38. Шарандак П. В., Левченко В. І. Зниження негативного впливу сполук кадмію та плюмбуму на функціональний стан печінки овець у Луганській області. *Науковий вісник ветеринарної медицини*, 2014. Вип. 13. С. 266–270.
39. Lavryshyn Y. Y., Gutyj B. V. (2019). Protein synthesize function of bulls liver at experimental chronic cadmium toxicity. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences*, 2019. Vol. 21(94). P. 92–96.
40. Кропивка С. Й. Активність ферментів у крові телиць за згодовування солей селену, цинку і кадмію. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2010. Т. 12, № 3(2). С. 89–92.
41. Слободян С. О., Гутий Б. В. Протеїнсинтезувальна функція та функціональний стан печінки щурів за тривалого кадмієвого та свинцевого навантаження. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки*, 2019, т 21, № 96. С. 141–146.
42. Pourahmand J., O'Brien P. J. A comparison of hepatocyte cytotoxic mechanisms for Cu and Cd. *Toxicology*, 2000. V. 143, N 3. P. 263–273.



43. Антоняк Г. Л., Бабич Н. О., Білецька Л. П., Панас Н. Є., Жилищич Ю. В. Кадмій в організмі людини і тварин. II. Вплив на функціональну активність органів і систем. *Біол. студії*, 2010. Т. 4, № 3. С. 125–136.
44. Barbier O., Jacquillet G., Tauc M., Cougnon M., Poujeol P. Effect of heavy metals on, and handling by, the kidney. *Nephron Physiol.*, 2005. Vol. 99 (4). P. 105–110.
45. Нефьодова О. О., Білишко Д. В. Експериментальне визначення впливу хлориду кадмію при ізольованому введенні та в комбінації з цитратом селену на показники ембріогенезу щурів. *Вісник проблем біології і медицини*, 2018. Вип. 3. С. 301–305.
46. Назарук Н. В., Гутий Б. В., Гуфрій Д. Ф. Особливості перекисного окиснення ліпідів у крові бичків, уражених кадмієм та нітритами. *Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин і Державного науково-дослідного контрольного інституту ветпрепаратів та кормових добавок*. Львів, 2012. Вип. 13, № 3/4. С. 250–253.
47. Шепельова І. А., Деркач Є. А., Мельникова Н. М. Вміст вільних амінокислот у печінці щурів, отруєних кадмієм. *Біологія тварин*, 2012. Т. 14, № 1. С. 352–355.
48. Нечитайло Л. Я., Хопта Н. С. Вплив кадмієвої інтоксикації на біоелементний склад тканин і органів дослідних тварин. *Медична і клінічна хімія*, 2011. Т. 13, № 4. С. 210.
49. Пришляк А. М., Гнатюк М. С., Стахурська І. О. Інформаційний аналіз особливостей структурної перебудови шлуночків серця під впливом хлориду кадмію. *Таврический медико-биологический вестник*, 2013. Т. 16, № 1(1). С. 202–205.
50. Гнатюк М. С., Котляренко Л. Т., Ружицька О. Ю. Морфологічні зміни клубової кишки при ураженні хлоридом кадмію. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*, 2012. № 2. С. 42–45.
51. Гутий Б. В. Вплив хлориду кадмію на інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів та стан системи антиоксидантного захисту організму щурів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Ветеринарна медицина*, 2012. Вип. 7. С. 31–34.
52. Гутий Б. В. Вплив хлориду кадмію у різних дозах на активність амінотрансфераз сироватки крові бугайців. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2013. Т. 15, № 1(1). С. 49–52.
53. Goering P. L., Waalkes M. P., Klaassen C. D. Toxicology of cadmium. In: *Toxicology of metals. Biochemical Aspects*. R. A. Goyer, M. G. Cherian (Eds.). *Handbook of Experimental Pharmacology*. New York: Springer-Verlag, 1995. Vol. 115. P. 189–214.
54. Демків І. Я. Вплив карнітину хлориду на показники імунітету та стан антиоксидантної системи у тварин із гострим отруєнням етиловим

спиртом на фоні тривалої інтоксикації солями свинцю і кадмію. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Медицина*, 2008. Вип. 33. С. 44–49.

55. Kim J., Sharma R. P. Cadmium-induced apoptosis in murine macrophages is antagonized by antioxidants and caspase inhibitors. *J. Toxicol. Environ. Health. A.*, 2006. V. 69, № 12. P. 1181–1201.

56. Lavryshyn Y. Y., Gutj B. V., Palyadichuk O. R., Vishchur V. Y. Morphological blood indices of the Bull in experimental chronic cadmium toxicosis. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 2018. Vol. 20(88), 108–114.

57. Островська С. С., Шаторна В. Ф. Імунологічні аспекти впливу свинцю та кадмію на організм. *Вісник проблем біології і медицини*, 2017. Вип. 2. С. 20–25.

58. Nazaruk N.V., Gutj B.V., Gufrij D.F., Leskiv Kh. Ya., Ivashkiv R.M., Martyshuk T.V. (2021). The effect of methyphen and vitamix se on the level of products of bull lipid peroxide oxidation under nitrate-cadmium load. *Colloquium-journal*, 7(94), 16-18. doi: 10.24412/2520-6990-2021-794-16-18

59. Котляренко Л. Т., Ружицька О. Ю. Морфофункціональні особливості гемомікроциркуляторного русла порожньої кишки дослідних тварин при отруєнні кадмію хлоридом. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*, 2013. № 2. С. 114–116.

60. Талоха Н. І., Куртяк Б. М. Вплив свинцю, кадмію і хрому (vi) на життєдіяльність мікроорганізмів рубця великої рогатої худоби у дослідях *in vitro* при додаванні селеніту натрію та вітаміну Е. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2010. Т. 12, № 2(4). С. 299–303.

61. Чалая О. С. Вплив токсичних доз кадмію та свинцю на ріст відгодівельних свиней. *Науково-технічний бюлетень*, 2013. № 109(2). С. 190–194.

62. Yucesoy B., Turhan A., Ure M. et al. Effects of occupational lead and cadmium exposure on some immunoregulatory cytokine levels in man. *Toxicology*, 1997. V. 21, N 1-2. P. 143–147.

63. Yiin S. J., Chern C. L., Sheu J. Y. Cadmium induced liver, heart, and spleen lipid peroxidation in rats and protection by Selenium. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2000. Vol. 78. P. 219–230.

64. Wang X., Tian J., Yong K.T. Immunotoxicity Assessment of CdSe/ZnS Quantum Dots in Macrophages, Lymphocytes and BALB/c Mice. *J. Nanobiotechnology*, 2016. Vol. 14. P. 10.

65. Іншина Н. М. Роль прооксиданта-вільного гему в механізмах гепатотоксичної дії хлоридів кадмію та меркурію. *Медична хімія*, 2011. Т. 13, № 4. С. 169.

66. Гордієнко В. В. Особливості циркадіанних біоритмів показників про/антиоксидантного гомеостазу в статевонезрілих щурів за тривалої дії низьких доз кадмію хлориду. *Медична хімія*, 2014. Т. 16, № 3. С. 33–37.

67. Багдай Т., Снітинський В., Антоняк Г. Вплив кадмію на процес пероксидного окиснення ліпідів і стан антиоксидантної системи в клітинах крові коропа. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер: Агрономія*, 2013. № 17(2). С. 406–412.

68. Ерстенюк Г. М., Геращенко С. Б., Хопта Н. С. Вплив хлориду кадмію та нітриту натрію на структурно-метаболичні процеси у кістковій тканині. *Досягнення біології та медицини*, 2011. № 2(18). С. 40–45.

69. Jarup L., Akesson A. Current status of Cadmium as an environmental health problem. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 2009. Vol. 238(3). P. 201–208.

70. Pathak N., Khandelwal S. Role of Oxidative Stress and Apoptosis in Cadmium Induced Thymic Atrophy and Splenomegaly in Mice. *Toxicol. Lett.*, 2007. Vol. 169(2). P. 95–108.

71. Дрогомирецька І. З., Мазепа М. А. Вплив іонів кадмію на лейкоцити периферичної крові та кровотворних органів коропа (*Sturnus vulgaris* L.). *Рибогосподарська наука України*, 2009. № 4. С. 98–103.

72. Цехмістренко О. С., Цехмістренко С. І., Девеча І. О., Пономаренко Н. В., Поліщук В. М., Яремчук Т. С. Вплив Сел-плексу та кадмієвого навантаження на ліпопероксидацію в організмі птиці. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*, 2013. Вип. 9. С. 16–19.

73. Калитовська М. Б., Галькевич І. Й. Вивчення впливу мікроелементів крові на процеси сорбції йонів кадмію та плумбуму модифікованим кліноптилолітом. *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики*, 2010. Вип. 23, № 4. С. 31–33.

74. Кирилів М. В. Спосіб корекції активності фосфоліпази a2 та процесів ліпопероксидації у білих щурів за умов комбінованого ураження солями кадмію та кобальту. *Вісник проблем біології і медицини*, 2014. Вип. 1. С. 129–133.

75. Чалая О. С., Маменко О. М. Фактори та інтенсивність впливу на міграцію плумбуму та кадмію з кормів у організм свиней. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*, 2013. Вип. 15. С. 200–204.

76. Хижняк С. В., Прохорова А. О., Грищенко В. А., Степанова Л. І., Сорокіна Л. В., Томчук В. А. Функціонування антиоксидантної системи щурів за дії кадмію. *Український біохімічний журнал*, 2010. Т. 82, № 4. С. 105–111.

77. Гордієнко В. В., Косуба Р. Б., Перепелиця О. О. Антитоксична та нефропротекторна дія фітокомпозиції «Поліфітол-1» за кадмієвої

інтоксикації у молодих статевонезрілих щурів. *Клінічна та експериментальна патологія*, 2018. Т. 17, № 1. С. 35–42.

78. Шарандак П. В., Левченко В. І. Зниження негативного впливу сполук кадмію та плюмбуму на функціональний стан печінки овець у Луганській області. *Науковий вісник ветеринарної медицини*, 2014. Вип. 13. С. 266–270.

79. Гутий Б. В. Вплив Урсовіту-Адес та Мевеселу ін'єкційного на ензимну ланку глутатіонової системи антиоксидантного захисту бичків за гострого кадмієвого токсикозу. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Ветеринарна медицина*, 2016. Вип. 6. С. 221–225.

80. Гутий Б. В. Вплив Е-селену на вміст вітамінів А і Е у крові бичків за умов кадмієвої інтоксикації. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2013. Т. 15, № 3(3). С. 311–314.

81. Леськів Х. Я. Вплив метіфену на активність антиоксидантної та імунної системи захисту організму поросят за нітратного навантаження. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Суми, 2012. Вип. 7 (31). С. 53–57.*

82. Пихтєєва О. Г. Порівняння токсикокінетики та токсикодинаміки CdCl<sub>2</sub> та екзогенного комплексу кадмію з металотіонеїном при інтраперитонеальному введенні лабораторним мишам. *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*, 2013. № 3. С. 40–43.

83. Бараннік Т. В. Активність ряду антиоксидантних ферментів і вміст відновленого глутатіону в печінці щурів при дії хлориду кадмію. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Біологія*, 2006. № 748, Вип. 4. С. 12–16.

84. Нефьодова О. О., Задесенець І. П. Оцінка впливу кадмію хлориду на показники ембріогенезу щурів за умов корекції цитратом цинку при внутрішньошлунковому введенні. *Вісник проблем біології і медицини*, 2018. Вип. 3. С. 309–314.

85. Портяннік С. В., Маменко О. М. Вплив екстракту лікарських рослин на екскрецію надлишку кадмію і свинцю із організму дійних корів. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини*, 2015. Вип. 30(1). С. 228–234.

86. Дікал М. В. Вплив мелатоніну на функціональний стан нирок щурів за умов токсичної дії хлориду кадмію. *Український біофармацевтичний журнал*, 2013. № 4. С. 77–79.

87. Яремчук Т. С., Цехмістренко С. І., Цехмістренко О. С., Пономаренко Н. В. Вплив селену на обмін енергії в організмі перепелів за дії солей кадмію. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*, 2012. Вип. 7. С. 52–55.

88. Ковальова І. В., Антоненко П. П. Динаміка змін продуктивних якостей курей за впливу селену та фітодобавок. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини: збірник наукових праць Харківської державної зооветеринарної академії*. Харків, 2018. Вип. 35, ч. 2, № 3. С. 145–150.

89. Вахуткевич І. Ю., Гордійчук Л. М. Білковий обмін у курей за дії хрому та кадмію в раціоні з добавкою активованого цеоліту. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 2015. Т. 17, № 1(2). С. 243–247.

**Information about the authors:**

**Ostapuyk Andriy Yuriiiovych,**

Candidate of veterinary Sciences,

Director

State Research Control Institute of veterinary medicinal products  
and feed additives

11, Donetska str., Lviv, 79019, Ukraine

**Gutyj Bogdan Volodymyrovych,**

Doctor of Veterinary Sciences, Professor,

Head of the Department of Hygiene, Sanitation and General Veterinary  
Prevention

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Leskiv Khrystyna Yaroslavivna,**

Candidate of Veterinary Sciences,

Associate Professor at the Department of Pharmacology and Toxicology  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and

Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Shcherbatyi Andrii Romanovych,**

Candidate of Veterinary Sciences,

Associate Professor at the Department of animal internal diseases  
and clinical diagnostics

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and  
Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**ЕПІДУРАЛЬНА АНЕСТЕЗІЯ У СВІЙСЬКОГО КРОЛИКА  
(*ORYCTOLAGUS CUNICULUS*) ЯК КОМПОНЕНТ  
МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ПІДХОДУ  
ПІД ЧАС ЛАПАРАТОМІЧНИХ ВТРУЧАНЬ**

**Сьогодні О. Б., Тимошенко О. П., Степаненко Г. О.**

**ВСТУП**

Епідуральне депонування анестезуючих і знеболювальних препаратів є рутинним методом регіонарної анестезії в людини та дрібних тварин<sup>1,2</sup>. Більшість анестезіологічних протоколів для гризунів та зайцеподібних включають інгаляційні препарати та агоністи альфа2-адренорецепторів, що мають виражений седативний ефект, але не забезпечують достатній рівень аналгезії пацієнта під час втручання<sup>3</sup>. Препарати опіоїдного ряду та кетамін, не є доступними в ветеринарній практиці в Україні, що ускладнює та майже унеможливує якісне знеболення під час рутинних лапаратомічних втручань. Тому надважливо екстраполювати досвід проведення епідуральної анестезії і для екзотичних ссавців, а саме кроликів. На цю тему було проведено небагато досліджень, проте вони дали обнадійливі результати<sup>4,5</sup>.

Загальна анестезія є оборотним станом, викликаним медикаментами, що включає втрату свідомості, амнезію, антиноцицепцію та нерухомість із збереженням фізіологічної стабільності<sup>6</sup>. Збалансована або мультимодальна анестезія, найпоширеніша стратегія, яка використовується в анестезіологічній практиці, передбачає введення комбінації різних препаратів для створення ефекту їх синергічного посилення для зменшення концентрації кожного. Історично гуманні анестезіологи розробили цей підхід, щоб уникнути використання ефіру

---

<sup>1</sup> Ertelt K., Turkovic V., Moens Y. Clinical practice of epidural puncture in dogs and cats assisted by a commercial acoustic puncture assist device-epidural locator: preliminary results. *Journal of Veterinary Medical Education*, 2016, 43, 21–25.

<sup>2</sup> Слюсаренко Д.В. Диференціальна епідуральна блокада новокаїном та лідокаїном у собак / Д.В. Слюсаренко // Проблеми зооінженерії та вет. медицини: зб. наук. праць Харків. держ. зоовет. акад. – Х., 2014. – Вид. 29. – Ч. 2. – Т. 2. – С. 82-85.

<sup>3</sup> Hawkins G.M. Is there life beyond isoflurane? Current approaches to small exotic mammal anesthesia, NAVC Conference, 2009, 1843-1850.

<sup>4</sup> Chitty J. Clinical Techniques: The Subarachnoid Space: Its Clinical Relevance in Rabbits, *Journal of Exotic Pet Medicine*, 2007, 16 (3), 179–182.

<sup>5</sup> Greenaway J.B., Partlow G.D., Gonsholt N.L., Fisher K.R.S. Anatomy of the lumbosacral spinal cord in rabbits, *Journal of the American animal hospital association*, 2001, 37, 27-34.

<sup>6</sup> Brown E.N., Lydic R., Schiff N.D. General anesthesia, sleep, and coma. *N Engl J Med.*, 2010; 363: 2638–2650.

для підтримки загальної анестезії<sup>7</sup>. До переваг такого підходу є зменшення не лише концентрацій введених препаратів, але й зменшення побічних ефектів кожного з них.

Сучасна практика збалансованої загальної анестезії спирається на використання інгаляційних (ізофлюран, севофлюран) або неінгаляційних снодійних, такий як пропофол, для індукції та підтримки непритомного стану. Хоча мідазолам, в країнах, в яких, він доступний, часто призначають раніше індукції для профілактики тривоги. На сьогоднішній день збалансований загальний наркоз покладався майже виключно на опіоїди, що вводились як періодичні болуси або безперервні інфузії для уникнення ноцицепції під час операції та біль після операції. Необхідно розрізняти ноцицепцію та біль. Ноцицепція – це поширення через сенсорну систему потенційно шкідливих подразників, тоді як біль є свідоме сприйняття ноцицептивної інформації<sup>8</sup>. Наприклад, якщо пацієнт не у свідомості після прийому індукції ізофлюраном, то все рівно буде мати місце збільшення частоти серцевих скорочень і артеріального тиску у відповідь на хірургічний розріз. Що і буде ознакою ноцицепції, що не є гуманним підходом до знеболення за хірургічних втручань.

Ноцицептивна система організму складається з ноцицепторів, висхідних та низхідних ноцицептивних шляхів. Ноцицептори є неспеціалізованими закінченнями нервових клітин, розташованими в периферичній тканині і в внутрішніх органах, які викликають ноцицепцію або біль. Тіла клітин знаходяться в дорсальному розі спинного мозку і посилають один аксональний відросток до периферії, а інший до спинного мозку. Висхідні шляхи передають ноцицептивні стимули від периферії до спинного мозку до стовбура мозку (довгий і середній мозок), мигдалеподібного тіла, таламуса та до первинної та вторинної сенсорної кори. Низхідні ноцицептивні шляхи починаються в сенсорній корі головного мозку і спрямовуються на гіпоталамус і мигдалеподібного тіла. Низхідні шляхи негайно активуються висхідними ноцицептивними шляхами і модулюють (підвищують і знижують) ноцицептивну передачу інформації.

Оскільки існує кілька різних нейромедiatorів і нейронних зв'язків у висхідних і низхідних шляхах, є кілька «мішенів», на які можуть діяти антиноцицептивні засоби для порушення сприйняття ноцицептивної інформації. Ключовим є одночасне націлене на кілька цілей у ноцицептивній системі є концепція, що лежить в основі розробки мультимодальної стратегії для ноцицептивного контролю, а отже,

---

<sup>7</sup> Multimodal General Anesthesia: Theory and Practice November, 2018, Volume 127, Number 5, pp. 1246-1258.

<sup>8</sup> Hendrickx J.F., Eger E.I., Sonner J.M., Shafer S.L. Is synergy the rule? A review of anesthetic interactions producing hypnosis and immobility. *Anesth Analg.* 2008; 107: 494–506.

мультимодальна загальна анестезія<sup>9</sup>. Ми зосереджуємо наше дослідження антиноцицептивних засобів на препаратах для епідурального введення у зайцеподібних.

## **1. Анатомо-фізіологічні особливості анестезіологічного супроводу в зайцеподібних**

Ряд Rodentia дуже чисельний і різноманітний з надзвичайними особливостями морфології, харчування, активності метаболізму та анатомії. Серед його представників нараховують 29 родин і понад 2000 видів, які пристосувалися до місць проживання в більшості областей Земної кулі. Ця чудова адаптація і прискорений життєвий цикл призвели до того, що гризуни стали не лише тваринами, яких використовують у лабораторіях, але й домашніми улюбленцями із зростаючою популярністю. Власники зазвичай вважають їх членами родини, що вимагає від ветеринарних фахівців високого рівня кваліфікації, незалежно від виду тварини<sup>10</sup>. Кількість голів свійського кролика (*Oryctolagus cuniculus*) лише у Великобританії становила у 2017 році 1 мільйон екземплярів, представлених понад 50 породами, визнаними British Rabbit Council<sup>11</sup>. Незважаючи на конформаційні варіації, свійський кролик зберігає ряд виражених форм поведінки, схожих із європейським диким кроликом, що свідчить про те, що одомашнення істотно не змінило його поведінкові потреби<sup>12</sup>.

Ризик анестезії у гризунів вищий, ніж у більш великих ссавців, таких як коти та собаки. Ретроспективне дослідження показників смертності здорових кролів від анестезії повідомляє про 3,8%, що приблизно у 10 разів вище, ніж у котів та собак<sup>13</sup>. Цьому є багато причин, у тому числі вищий рівень метаболізму і, отже, потреби в кисні та глюкозі. Це означає, що кролики мають надзвичайно високий рівень чутливості навіть до короткочасної гіпоксемії. Незворотне ураження центральної нервової системи в цих тварин відбувається протягом 30 секунд після зупинки дихання. Низькі запаси глікогену сприяють розвитку у гризунів та зайцеподібних гіпоглікемії, а більш високе співвідношення площі поверхні тіла до об'єму у гризунів та зайцеподібних призводить до швидкої втрати тепла, викликаючи схильність до гіпотермії.

---

<sup>9</sup> Lydic R., Baghdoyan H.A. Sleep, anesthesia, and the neurobiology of arousal state control. *Anesthesiology*. 2005; 103: 1268–1295.

<sup>10</sup> PFMA. The Pet Food Manufacturers' Association 'Statistics': The Pet Food Manufacturers' Association, 2018. Available: <https://www.pfma.org.uk/statistics>.

<sup>11</sup> British Rabbit Council. Breed standards Newark. Notts: The British Rabbit Council, 2017. <https://thebritishrabbitcouncil.org/standards.htm>.

<sup>12</sup> PDSA. Paw PDSA animal wellbeing report 2018, 2018.

<sup>13</sup> Mäkitaipale J., Harcourt-Brown F.M., Laitinen-Vapaavuori O. Health survey of 167 pet rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in Finland. *Veterinary Record* 2015; 177.



Вищезазначений «швидкий» метаболізм збільшує швидкість виведення ліків, тому гризунам зазвичай потрібні більш високі їх дози та більш часте введення<sup>14</sup>. Підвищена частота дихання тварини збільшує альвеолярну частоту вентиляції, що призводить до більш швидкого поглинання і виведення анестетика. Можуть виникати труднощі та технічні перешкоди забезпеченню доступу до судинних і дихальних шляхів. Нарешті, гризуни зазвичай демонструють вищі рівні циркулюючих катехоламінів (дофаміну, норадреналіну і адреналіну), що виділяються у відповідь на активність симпатичної нервової системи та призводять до звуження судин, гіпертензії, тахікардії, підвищення рівня глюкози у крові та порушення ритму за високих рівнів кровообігу.

## **2. Особливості та недоліки епідурального введення препаратів у зайцеподібних**

Попереково-крижовий епідуральний простір є місцем для ін'єкцій в маленьких тварин, яке найбільш часто використовується. Деякі фахівці вважають його «золотим стандартом» для превентивної аналгезії, адже епідуральна анестезія знижує центральну сенсibiliзацію, дозування інтраопераційних інгаляційних та опіоїдних препаратів, що зменшує плазмову концентрацію біомаркерів стресу під час операції. Це досить дешева і проста техніка, яка має відносно низький ступінь ускладнень<sup>15</sup>. Епідуральна анестезія має також перевагу за рахунок тривалого полегшення болю. Одні й ті ж препарати за епідурального введення потребують застосування менших доз, ніж за системного їх введення, що зменшує негативні побічні ефекти. В якості післяопераційного знеболення пацієнти можуть отримувати епідуральну анестезію без седативного ефекту, що швидше відновлює апетит та самостійне вживання їжі, що є надважливим для цекотрофів, тобто тварин із подвійним травленням, для яких є необхідним копрофагія для підтримання нормального мікробіому шлунково-кишкового тракту<sup>16</sup>.

Проте в рутинній практиці епідуральна блокада рідко використовується у дрібних ссавців через анатомічні відмінності та розміри. Існує велика варіація загальної кількості ребер і хребців у кроликів. У дослідженнях на 64 кроликах показали, що 43,8% кроликів мали 12 грудних (Т) хребців і 7 поперекових (L) хребців, 13Т/6L у 32,8% і 13Т/7L у 23,4%. Спинний мозок закінчувався у крижовому хребці (S)

---

<sup>14</sup> Lichtenberger M. Anesthesia and analgesia for the critical patient, NAVC Conference, 2008, 1832-1834.

<sup>15</sup> Gusak V., Turkovic V., Neseck-Adamm V., Lerotic I., Popovic M., Brajenovic N., Karaconji B.I., Vnuk D., Lidocaine serum concentration after epidural administration in combination with morphine and fentanyl in rabbits – A preliminary study, Res. Vet. Sci., 2012.

<sup>16</sup> Johnston M.S., Clinical approaches to analgesia in ferrets and rabbits, Seminars in avian and exotic pet medicine, 2005, 14(4), 229-235.

S1-S3 у всіх 64 кроликів, тому справжній епідуральний простір можна було знайти лише у крижово-хвостовій ділянці. Тобто анатомічно каудальний кінець спинного мозку знаходиться на рівні крижів, що робить цю техніку ще більш складною у кроликів. Міжхребцеве введення препарату в поперекову область або в попереково-крижовий простір у кроликів може досягати епідуральної або субарахноїдальної глибини<sup>17</sup>.

Недоліки епідуральної анестезії тісно пов'язані з розміром тварин, особливо в карликових порід, а також з відсутністю даних щодо ефективності та безпеки цього втручання. Через невеликий розмір епідурального простору рідко можна встановити епідуральні катетери; у такому разі для доступу використовуються внутрішньошкірні голки. Можна проводити введення анестетиків крізь голку, але це виконується одноразово, на відміну від епідуральних катетерів, які дозволяють проводити безперервну або повторну епідуральну анестезію. За введення великого об'єму анестетика в епідуральний або субарахноїдальний простір, епідуральна блокада може поширюватися до шийного відділу, блокуючи діафрагмальні нерви та викликаючи зупинку дихання. Це може вимагати штучної вентиляції легень. Адже усі гризуни мають облігатне носове дихання завдяки близькому дорсальному розташуванню гортані з носоглоткою.

Звичайні препарати, що використовуються для епідуральної анальгезії, включають місцеві анестетики (лідокаїн і бупівакаїн), опіоїди (морфін, фентаніл і бупренорфін), агоністи альфа-2 і кетамін. Є синергізм між місцевими анестетиками та опіоїдами в епідуральному просторі та їх комбінаціями, що використовується для мінімізації побічних ефектів кожного. Загальний обсяг препаратів для епідурального введення кроликам не повинен перевищувати 0,33 мл/кг<sup>18</sup>.

### **3. Параметри організму кроликів за епідуральної блокади лідокаїном під час оваріо-гістеректомії (n=12)**

Для проведення епідуральної анестезії кролика необхідно спочатку іммобілізувати та знеболити, тому що будь-який рух тварини може призвести до пошкодження спинного мозку. Для цього використовували стандартний протокол, за якого за 40 хв до втручання, яке планується, вводили маропітант (2 мг/кг) та мелоксивет (0,5 мг/кг), а за 20 хвилин –

---

<sup>17</sup> Malinovsky J.M., Bernard J.M., Baudrimont M., Dumand J.B., Lepage J.Y., A chronic model for experimental investigation of epidural anesthesia in the rabbit, *Regional anesthesia*, 1997, 22(1), 80-85.

<sup>18</sup> Nugent-Deal J. Performing quality anesthesia on ferrets, rabbits, and rodents, NAVC Conference, 2010, 75-78.

бутомітор (0,4 мл/кг) та декседомітор (0,04 мг/кг). Індукцію проводили ізофлюраном у концентрації 5 % та 1,5-2% для підтримки тривалості дії анестезії.

В нашій практиці кролика розташовували в положенні на грудині з витягнутими вперед тазовими кінцівками. Попереково-крижовий простір пальпували по середній лінії між крилами клубової кістки. До ділянки шкіри застосовували всі етапи хірургічної асептико-антисептичної підготовки, а лікар використовував стерильні рукавички під час усіх процедур. Для епідуральної пункції відбиралась спінальна голка 25-го калібру, яку вводили до відчуття характерного звука внаслідок проходження голкою *ligamentum flavum* в епідуральний простір. Слід пам'ятати, що спінальна голка може потрапити в кістку, і в цьому випадку необхідно виправити її положення. Для перевірки правильного положення голки в епідуральному просторі можна використовувати «техніку падіння» або «техніку стисненого повітря». Коли голка потрапляє в епідуральний простір, крапля фізіологічного розчину розміщується над канюлею голки та втягується всередину, що підтверджує коректне епідуральне розміщення. В іншому методі використовується стерильний шприц, що містить фізіологічний розчин, і маленький шприц із невеликою кількістю повітря. Після введення голки шприц приєднується і повільно вводиться фізіологічний розчин. Підтвердженням правильного розміщення голки під час епідурального введення анестетика є те, якщо рідина легко впорскується без стиснення повітря у шприці. Після перевірки можна повільно вводити анестетики. Цереброспінальна рідина може бути присутня в канюлі, якщо голка, проходячи епідуральний простір, занурюється в субаракноїдальний.

Після епідуральної ін'єкції лідокаїну, за літературними даними, аналгезія розвивається через 10-15 хв і триває 1-1,5 години. Є рекомендації використовувати лідокаїн у дозі менше 2 мг/кг, ніж для системного застосування (Табл. 1). Лідокаїн також можна використовувати для тривалого лікування хронічного болю. Його вводять у крижово-хвостовій ділянці, що не призводить до утворення моторної слабкості<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Komoda Y., Nosaka S., Takenoshita M., Enhancement of lidocaine-induced epidural anesthesia by deoxyaconitine in the rabbit, *Journal of anesthesia*, 2003, 17(4), 241-245.

Таблиця 1

**Параметри організму кролів за епідуральної блокади лідокаїном під час оваріо-гістеректомії (n=12)**

Тривалість прихованого періоду, хв	17,2±2,63		
Тривалість аналгезії, хв	83,2±2,78		
Тривалість моторної блокади, хв	176,3±6,13		
Тривалість відновлення чутливості, хв	219,2±3,60		
Термін дослідження	До блокади	Під час блокади (через 15 хв після ін'єкції)	Через 720 хв після знеболювання
Температура тіла, °С	38,5±0,28	38,4±0,25	38,5±0,08
Частота дихання, рухів за хв	48,7±0,80	52,9±0,50	48,0±1,96
Частота серцевих скорочень за хв	195,5±4,14	178,8±2,13**	196,6±3,24

**Примітка:** \*\* –  $p < 0,01$ , порівняно з показником до блокади.

Вивчення дії лідокаїну за його епідурального застосування у кроликів показало, що прихований період (час від ін'єкції до початку анестезії) становив 17,2±2,63, тривалість аналгезії – 83,2±2,78 хв, моторної блокади – 176,3±6,13 хв, а відновлення чутливості – 219,2±3,60 хв. Під час знеболювання спостерігали достатню глибину аналгезії та релаксацію м'язів каудальної частини тіла, включаючи черевну стінку. Під час дослідження клінічних показників організму тварин у цей період вірогідних коливань температури тіла тварин не виявляли. Якщо в підготовчий період (до блокади) показник становив 38,5±0,28°С, то під час анестезії – 38,4±0,25°С, через 720 хв – 38,5±0,08°С. Частота дихання також суттєво не змінювалась і становила: 48,7±0,80 – перед введенням лідокаїну, 52,9±0,50 – під час знеболювання, через 720 хвилин – 48,0±1,96 рухів за хвилину. Частота серцевих скорочень знижувалася від 195,5±4,14 у підготовчий період до 178,8±2,13\*\* за хвилину під час знеболювання ( $p < 0,001$ ), а через 720 хв після введення лідокаїну вона підвищувалася до 196,6±3,24.

**4. Параметри організму кролів під час оваріо-гістеректомії за епідуральної блокади 0,5%-им розчином бупівакаїну (n=12)**

Бупівакаїн можна вводити окремо або разом з опіоїдами під час епідуральної анестезії в дозі 0,1 мг/кг, що забезпечує хірургічне знеболювання протягом 5-8 годин. Концентрації бупівакаїну менше 0,125% має найменший вплив на моторику волокон, створюючи якісну аналгезію (Таб. 2). Бупівакаїн також можна використовувати для

довготермінового лікування хронічного болю за допомогою введення катетера в епідуральний простір.

Таблиця 2

**Параметри організму кролів за епідуральної блокади 0,5%-им розчином бупівакаїну під час оваріо-гістеректомії (n=12)**

Тривалість прихованого періоду, хв	8,8±0,81		
Тривалість аналгезії, хв	274,0±10,19		
Тривалість моторної блокади, хв	297,4±7,93		
Тривалість відновлення чутливості, хв	356,4±10,82		
Термін дослідження	До блокади	Під час блокади (через 15 хв після ін'єкції)	Через 720 хв після знеболювання
Температура тіла, °С	39,5±0,38	37,5±0,08***	38,2±0,05*
Частота дихання, рухів за хв	68,7±0,80	41,4±0,46***	52,3±0,44*
Частота серцевих скорочень за хв.	195,5±4,14	160,7±2,28***	179,3±2,33**

**Примітка:** \* – p<0,05; \*\* – p<0,01; \*\*\* – p<0,001, порівняно з показником до блокади.

Використання 0,5%-ого розчину бупівакаїну (n=12) показало, що у кроликів термін прихованого періоду до початку аналгезії становив 8,8±0,81 хв, тривалість аналгезії – 274,0±10,19 хв, моторної блокади – 297,4±7,93 хв, а термін відновлення чутливості – 356,4±10,82 хв. Температура тіла тварин до виконання знеболювання становила 39,5±0,38°C, через 15 хв після введення бупівакаїну знижувалася (p<0,001) до 37,5±0,08°C, а через 720 хв після виконання знеболювання вона становила 38,2±0,05°C, що виявилось вірогідно нижче (p<0,05) за вихідні показники. Частота дихання в підготовчий період становила 68,7±0,80 рухів за хв, через 15 хв після введення бупівакаїну знижувалася (p<0,001) до 41,4±0,46, а через 720 хв після виконання знеболювання вона становила 52,3±0,44 рухів за хв, що було вірогідно нижче (p<0,05) за вихідні показники. Частота серцевих скорочень за хв в підготовчий період становила 195,5±4,14, а через 30 хв після введення бупівакаїну знижувалася (p<0,001) до 160,7±2,28. Через 720 хвилин після виконання знеболювання вона становила 179,3±2,33 серцевих скорочень, що було вірогідно нижче (p<0,01) за вихідні показники. Що забезпечило 100% виживання та комфортний вихід із анестезії всіх пацієнтів.

## **ВИСНОВКИ**

Ретроспективне дослідження показників смертності здорових кроликів від анестезії повідомляє про 3,8%, що приблизно у 10 разів вище, ніж у котів та собак. Більшість анестезіологічних протоколів для гризунів та зайцеподібних включають інгаляційні препарати та агоністи альфа2-адренорецепторів, що мають виражений седативний ефект, але не забезпечують достатній рівень аналгезії пацієнта під час втручання. Препарати опіоїдного ряду та кетамін, не є доступними в ветеринарній практиці в Україні, що ускладнює та майже унеможливує якісне знеболення під час рутинних лапаратомічних втручань. Тому надважливо екстраполовати досвід проведення епідуральної анестезії і для екзотичних ссавців, а саме кроликів. Епідуральна блокада рідко використовується у дрібних ссавців через анатомічні відмінності та розміри. Спинний мозок закінчувався у крижовому хребці (S) S1-S3 у всіх кроликів, тому справжній епідуральний простір можна було знайти лише у крижово-хвостовій ділянці. Оскільки анатомічно каудальний кінець спинного мозку знаходиться на рівні крижів, це робить описану техніку ще більш складною у кроликів. Згідно нашої техніки за використання 0,5%-ного розчину бупівакаїну (n=12) показало, що термін прихованого періоду до початку аналгезії становив  $8,8 \pm 0,81$ , тривалість аналгезії –  $274,0 \pm 10,19$ , моторної блокади –  $297,4 \pm 7,93$ , а термін відновлення чутливості –  $356,4 \pm 10,82$  хвилин. Концентрації бупівакаїну має менший вплив на моторику гладеньких м'язів шлунково-кишкового тракту, створюючи якісну довготривалу аналгезію без седатії, не зменшуючи перистальтику, сприяючи швидкому відновленню апетиту та самостійному вживанню їжі, що надважливо для цекотрофів, тобто тварин із подвійним травленням, для яких є необхідним копрофагія для підтримання нормального мікробіому сліпої кишки.

## **АНОТАЦІЯ**

Більшість анестезіологічних протоколів для гризунів та зайцеподібних включають інгаляційні препарати та агоністи альфа2-адренорецепторів, що мають виражений седативний ефект, але не забезпечують достатній рівень аналгезії пацієнта під час втручання. Препарати опіоїдного ряду та кетамін, не є доступними в ветеринарній практиці в Україні, що ускладнює та майже унеможливує якісне знеболення під час рутинних лапаратомічних втручань. Згідно нашої техніки за використання 0,5 %-ного розчину бупівакаїну показало, що термін прихованого періоду до початку аналгезії становив  $8,8 \pm 0,81$ , тривалість аналгезії –  $274,0 \pm 10,19$ , моторної блокади –  $297,4 \pm 7,93$ , а термін відновлення чутливості –  $356,4 \pm 10,82$  хвилин. Концентрації бупівакаїну має менший вплив на моторику гладеньких м'язів

шлунково-кишкового тракту, створюючи якісну довготривалу аналгезію без седації, не зменшуючи перистальтику.

### Література

1. Ertelt K., Turkovic V., Moens Y. Clinical practice of epidural puncture in dogs and cats assisted by a commercial acoustic puncture assist device-epidural locator: preliminary results. *Journal of Veterinary Medical Education*, 2016, 43, 21–25.

2. Слюсаренко Д.В. Диференціальна епідуральна блокада новокаїном та лідокаїном у собак / Д.В. Слюсаренко // Проблеми зооінженерії та вет. медицини: зб. наук. праць Харків. держ. зоовет. акад. – Х., 2014. – Вид. 29. – Ч. 2. – Т. 2. – С. 82-85.

3. Hawkins G.M. Is there life beyond isoflurane? Current approaches to small exotic mammal anesthesia, NAVC Conference, 2009, 1843-1850.

4. Chitty J. Clinical Techniques: The Subarachnoid Space: Its Clinical Relevance in Rabbits, *Journal of Exotic Pet Medicine*, 2007, 16 (3), 179–182.

5. Greenaway J.B., Partlow G.D., Gonsholt N.L., Fisher K.R.S. Anatomy of the lumbosacral spinal cord in rabbits, *Journal of the American animal hospital association*, 2001, 37, 27-34.

6. Brown E.N., Lydic R., Schiff N.D. General anesthesia, sleep, and coma. *N Engl J Med.*, 2010; 363: 2638–2650.

7. Multimodal General Anesthesia: Theory and Practice November, 2018, Volume 127, Number 5, pp. 1246-1258.

8. Hendrickx J.F., Eger E.I., Sonner J.M., Shafer S.L. Is synergy the rule? A review of anesthetic interactions producing hypnosis and immobility. *Anesth Analg.* 2008; 107: 494–506.

9. Lydic R., Baghdoyan H.A. Sleep, anesthesiology, and the neurobiology of arousal state control. *Anesthesiology.* 2005; 103: 1268–1295.

10. PFMA. The Pet Food Manufacturers' Association 'Statistics': The Pet Food Manufacturers' Association, 2018. Available: <https://www.pfma.org.uk/statistics>.

11. British Rabbit Council. Breed standards Newark. Notts: The British Rabbit Council, 2017. <https://thebritishrabbitcouncil.org/standards.htm>.

12. PDSA. Paw PDSA animal wellbeing report 2018, 2018.

13. Mäkitaipale J., Harcourt-Brown F.M., Laitinen-Vapaavuori O. Health survey of 167 pet rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in Finland. *Veterinary Record* 2015; 177.

14. Lichtenberger M. Anesthesia and analgesia for the critical patient, NAVC Conference, 2008, 1832-1834.

15. Gusak V., Turkovic V., Neseck-Adamm V., Lerotic I., Popovic M., Brajenovic N., Karaconji B.I., Vnuk D., Lidocaine serum concentration after

epidural administration in combination with morphine and fentanyl in rabbits – A preliminary study, Res. Vet. Sci., 2012.

16. Johnston M.S., Clinical approaches to analgesia in ferrets and rabbits, Seminars in avian and exotic pet medicine, 2005, 14(4), 229-235.

17. Malinovsky J.M., Bernard J.M., Baudrimont M., Dumand J.B., Lepage J.Y., A chronic model for experimental investigation of epidural anesthesia in the rabbit, Regional anesthesia, 1997, 22(1), 80-85.

18. Nugent-Deal J. Performing quality anesthesia on ferrets, rabbits, and rodents, NAVC Conference, 2010, 75-78.

19. Komoda Y., Nosaka S., Takenoshita M., Enhancement of lidocaine-induced epidural anesthesia by deoxyaconitine in the rabbit, Journal of anesthesia, 2003, 17(4), 241-245.

**Information about the authors:**

**Siehodin Oleksandr Borysovykh,**

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor,  
Department of Veterinary Surgery and Reproduction  
State Biotechnological University  
44, Alchevskykh str., Kharkiv, 61002, Ukraine

**Tymoshenko Olha Pavlivna,**

Doctor of Biological Sciences, Professor,  
Department of Internal Diseases and Clinical Diagnostic of Animals  
State Biotechnological University  
36, Beketova str., Kharkiv, 61002, Ukraine

**Stepanenko Hanna Oleksandrivna,**

Candidate of Veterinary Sciences  
Clinic of veterinary medicine «EcoCenter»  
3, L. Gurchenko lane, Kharkiv, 61003, Ukraine



## EFFECTIVENESS OF INORGANIC AND CHELATE COMPOUNDS OF MICROELEMENTS FOR OSTEODYSTROPHY OF COWS

Slivinska L. G., Fedorovych V. L., Shcherbatyi A. R.

### INTRODUCTION

In recent decades, the problem of providing animals with macro- and microelements has worsened, which is connected with changes in the technology of cattle breeding. Year-round keeping of livestock indoors, changing the structure of rations, irrational exploitation of premixes, numerical stress, and anthropogenic load have led to the spread of «diseases of industrialization,» most of which are associated with a deficiency or excess of elements<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>. Inorganic salts of trace elements for preventive and therapeutic purposes do not always ensure their optimal level in body tissues. The inconsistency of the recipes of standard premixes with the biogeochemical features of the region causes this problem<sup>6, 7</sup>. Moreover, the addition of mineral salts to feed is often not practical because there is a chemical incompatibility of some ions<sup>8</sup>. For example, copper sulfate is applied as a copper source in premixes, and potassium iodide, as a source of

---

<sup>1</sup> Мікроелементози сільськогосподарських тварин / М.О. Судаков, В.І. Береза, І.Г. Погурський [та ін.]. Київ: Урожай. 1991. 144 с.

<sup>2</sup> Shcherbatyu, A.R., Slivinska, L.G., Gutuj, B.V., Golovakha, V.I., Piddubnyak, O.V., Fedorovuch, V.L. The influence of a mineral-vitamin premix on the metabolism of pregnant horses with microelemetosis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Vol. 8 Iss. 2. P. 293-298. Doi: 10.15421/021746.

<sup>3</sup> Влізлю В.В., Сологуб Л.І., Янович В.Г., Антоняк Г.Л., Янович Д.О. Біохімічні основи нормування мінерального живлення великої рогатої худоби. 2. Мікроелементи. *Біологія тварин*. 2006. Т. 8. No 1–2. С. 41–62.

<sup>4</sup> Slivinska, L., Demydjuk, S., Shcherbatyu A., Fedorovich, V., & Tynduk, I. Етіологія та клініко-біохімічні показники крові за аліментарної остеодистрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини і біотехнологій імені С.З. Гжицького*. Серія: Ветеринарні науки. 2017. Том 19. № 73. С. 79-83. <https://doi.org/10.15421/nv1vet7317>

<sup>5</sup> Shcherbatyu, A., Slivinska, L., & Lukashchuk, B. Hypocobaltosis and hypocuprosis in pregnant mares in the western biogeochemical zone of Ukraine (distribution, diagnosis). *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2018. № 1(2). P. 11-14. <https://doi.org/10.32718/ujvas1-2.03>

<sup>6</sup> Слівінська, Л.Г., Демидюк С.К., Шчербатий А.Р. Синдроматика та стан метаболічних процесів у корів за мікроелементозів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2017. Т. 19. No 78. С. 182–186.

<sup>7</sup> Федорович В.Л. Профілактика остеодистрофії корів в умовах біогео- хімічної зони регіону. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2011. Том. 13. №4 (50). Ч. 1. С. 472–476.

<sup>8</sup> Slivinska, L., Fedorovych, V., Gutuj, B., Lychuk, M., Shcherbatyu, A., Gudyma, T., Chernushkin, B., Fedorovych, N. The occurrence of osteodystrophy in cows with chronic micronutrients deficiency. *Ukrainian journal of Ecology*. 2018. Vol. 8. Iss. 2. P. 24-32. Doi: 10.15421/2018\_305.

iodine. Their interaction produces insoluble copper iodide and volatile elemental iodine; it occurs in aqueous solutions and contacts with dry salts. Therefore, including trace elements in the diet in an inorganic form has many disadvantages. In this regard, it is advisable to administrate those mineral preparations in which microelements are chelated compounds with bioligands substances similar to natural carriers of microelements <sup>9</sup>.

### **1. Clinical status for cows' osteodystrophy when administrating inorganic and chelated compounds of microelements**

Our research was conducted based on farms in the Lviv region. Control over the prophylactic effect of trace elements was carried out established on the results of a clinical study of cows <sup>10</sup>, and biochemical analysis of blood serum and urine <sup>11</sup>, which were maintained before the start of feeding and on the 60th and 90th day of the experiment.

Taking into account the research results and guided by the principle of treatment of trace element diseases according to M.O. Sudakov, we calculated doses based on their deficiency in the diet <sup>12</sup>.

According to the results of a clinical and laboratory study, we selected 45 dry cows suffering from a subclinical form of osteodystrophy, from which 3 groups were formed: one control (15 heads) and two experimental ones – 15 animals each.

The cows of the first experimental group received inorganic compounds of minerals in the amount per trace element (mg): copper – 52.5, zinc – 301, cobalt – 5.6, and manganese – 56.2. The animals of the second group received the same trace elements in the form of chelated compounds with the amino acid methionine (methionates) in the same doses. In addition, cows of experimental groups 1 and 2 received tricalcium phosphate at 80 g/day per animal, 28 g of calcium, and 14.4 g of phosphorus. The vitamin preparation «Kombisol AD<sub>3</sub>E» (1 ml of the drug contains vitamin A – 50,000 MO; D<sub>3</sub>– 10000 MO; E – 100 mg) 2 ml/day per animal. Animals of the control group received only the essential diet. Compounds of salts of trace elements,

---

<sup>9</sup> Федорович В.Л. Мікроелементні сполуки у профілактиці остеодистрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2011. Т. 14. № 3 (53). Ч. 1. С. 292–297.

<sup>10</sup> Федорович В.Л., Стадник А.М. Лабораторна діагностика субклінічного та клінічного перебігу ензоотичної остеодистрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2007. Т. 9. №3 (34). Ч. 1 С. 225–231.

<sup>11</sup> Стадник А.М., Федорович А.М. Метаболічний профіль крові за ензоотичної остеодистрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2006. Т. 8. № 2 (29). Ч. 1. С. 185–190.

<sup>12</sup> Мікроелементози сільськогосподарських тварин / М.О. Судаков, В.І. Береза, І.Г. Погурський [та ін.] – Київ: Урожай. 1991. 144 с.

tricalcium phosphate, and vitamins were mixed with concentrated feed and fed for 90 days.

The research established that the clinical condition of the cows of the control group, which received only the essential diet, did not differ on the 60th day compared to the animals' indicators at the experiment's beginning. On the 90th day of research, 60% of cows in the control group were diagnosed with pale mucous membranes. During the entire experimental period, the general condition of the animals was satisfactory. The cows mostly lay down, did not get up long, and stepped on their limbs when standing.

Changes characterizing mineral metabolism disorders became more pronounced: distortion of taste was noted in 3 cows (20%), disheveled and dullness of hair – 5 (33.3%), depigmentation of the hair coat – 4 (26.7%), delayed molting – 7 (46.7%), decrease in skin elasticity – 4 (26.7%), incorrect regulation of limbs – in 3 (20%). Alopecia was found around the eyes, neck, back, and limbs. When palpating the last pair of ribs in 7 (46.7%) cows, their thinning was noted in 5 (33.3%) – lysis of the tail vertebrae. That is, typical symptoms of stages 1 and 2 of osteodystrophy were registered in the control group of cows. In the cows of the research groups, which, in addition to the essential diet, were fed inorganic salts and chelated compounds of microelements, positive changes in clinical status indicators were established.

In the cows of the first experimental group, the body temperature fluctuated within limits 38,7–39,3°C ( $39,0 \pm 0,25$  °C), pulse rate and breathing averaged  $62,0 \pm 1,25$  beat./min. and  $22,0 \pm 1,18$  breaths.mov./min. respectively.

Allotriophagy was observed in only one cow, which is 6.67% of all cows in the first experimental group, while at the beginning of the experiment, there were 7 of them (46.7%). The hair coat became shiny, the skin became elastic, the mucous membranes of 6 cows (40%) became pink, and in 9 (60%) – they acquired a pale pink color. On the 90th day of the experiment, hair depigmentation was not observed in cows.

The body temperature of the cows of the second group at the end of the experiment ranged from 38.1–38.8°C ( $38,4 \pm 0,25$  °C), pulse rate – 61–77 beats/min, ( $69,0 \pm 1,25$  beats/min), and the respiratory rate is 21–27 breaths.mov./min. ( $23,0 \pm 1,18$  resp.move./min). On the 60th day, molting was completed, and the hair coat was evenly pigmented. The mucous membranes of all cows were pink and pale pink. Allotriophagy was not observed in the animals.

Clinical study results established that the symptoms progressed in the cows of the control group. Furthermore, at the end of the experiment, signs

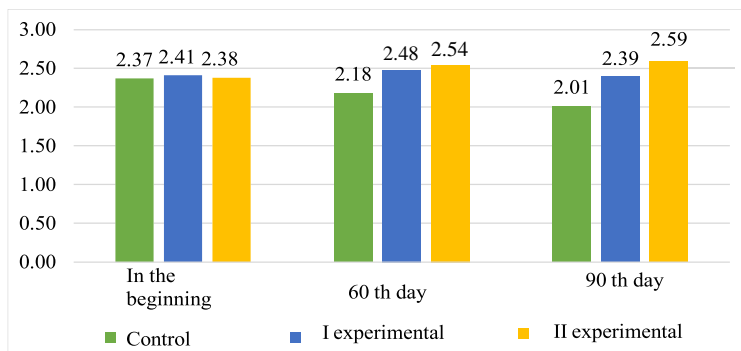
characteristic of the 1st and 2nd stages of osteodystrophy were found, in particular, lysis of the last tail vertebrae and ribs<sup>13</sup>.

When feeding chelated compounds of microelements, the clinical symptoms of the cows of the second experimental group normalized on the 60th day of the experiment. In contrast, the clinical symptoms of the cows of the first group disappeared only after the end of the study (the 90th day).

## **2. The content of macroelements in the blood serum of cows suffering from osteodystrophy administrating inorganic and chelated compounds of microelements**

In the cows of the control group, on the 60th day of the experiment, the total calcium level in blood serum decreased significantly ( $p < 0.001$ ) from  $2.37 \pm 0.022$  mmol/l to  $2.18 \pm 0.011$  mmol/l. On the 90th day – to  $2.01 \pm 0.014$  mmol/l ( $p < 0.01$ ;  $0.001$ ; Fig. 1). The decline in the total calcium concentration in the blood serum of cows of the control group is due to its low amount in the diet.

In the cows of the first experimental group, during the use of tricalcium phosphate and inorganic salts of microelements, the concentration of total calcium in blood serum did not differ from the initial values. However, on the 60th day, its content in blood serum was 13.8% higher ( $p_3 < 0,001$ ), and on the 90th day – 18.9% ( $p_3 < 0,001$ ) compared to the control (Fig. 1).



**Fig. 1. Content of total calcium in blood serum of cows, mmol/l**

In the second experimental group, the total calcium concentration in blood serum increased from  $2.38 \pm 0.019$  mmol/l at the beginning of the experiment to  $2.54 \pm 0.031$  mmol/l ( $p_2 < 0.05$ ) on the 60th day. At the end – up to  $2.59 \pm 0.030$

<sup>13</sup> Внутрішні хвороби тварин / В.І. Левченко, В.В. Влізло, І.П. Кондрахін, І.М. Карпуть, Л.Г. Слівінська, Л.М. Богатко, А.Ю. Мельник, І.В. Папченко, В.В. Чумаченко, В.Ю. Чумаченко; За ред. В.І. Левченка. Біла Церква, 2015. Ч. 2. 610 с.

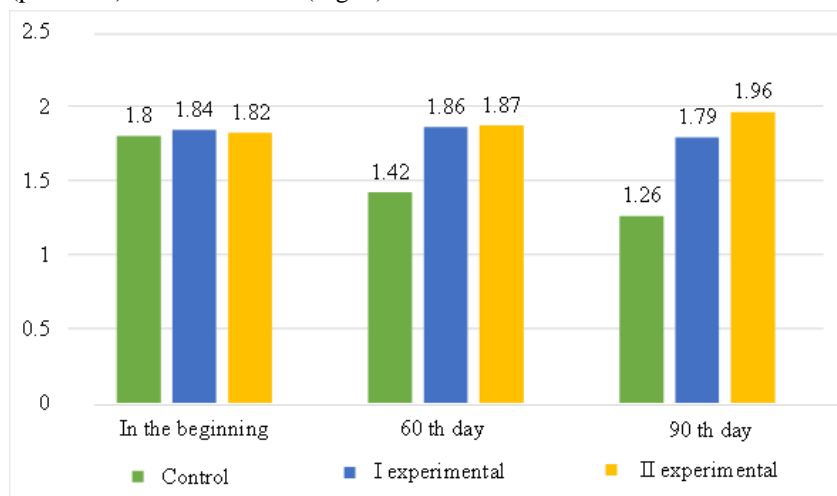
mmol/l ( $p_2 < 0.001$ ). The concentration of total calcium in the blood serum of cows of this group on the 60th day was probably 16.5% ( $p_4 < 0.001$ ), and at the end – 28.9% ( $p_4 < 0.001$ ) compared to the control group of animals.

The best therapeutic effect of using tricalcium phosphate in combination with chelated compounds of microelements was confirmed by the fact that total calcium content was 8.4% ( $p_5 < 0.001$ ) higher than cows of the first experimental group on the 90th day of the experiment.

The inorganic phosphorus concentration in the blood serum of the control group during the entire experiment decreased from  $1.80 \pm 0.03$  mmol/l to  $1.42 \pm 0.02$  on the 60th day and to  $1.26 \pm 0.08$  mmol/l on the 90th ( $p < 0.001$ ). It was less by 21.1 and 30.0%, respectively, compared to the beginning of the study (Fig. 2).

In cows of experimental group I, the inorganic phosphorus concentration remained stable throughout the experiment (Fig. 2; Table 1). However, on the 60th and 90th day, its concentration was higher by 31.0 and 42.1%, respectively ( $p_3 < 0.001$ ) compared to the indicators of the control group.

After the end of the experiment in group I on the 90th day, the macroelement concentration decreased ( $p_1 < 0.5$ ). Still, it was within the physiological range ( $1.79 \pm 0.03$  mmol/l) and remained higher by 42.0% ( $p_3 < 0.001$ ) than the control (Fig. 2).



**Fig. 2. The content of inorganic phosphorus in the blood serum of cows, mmol/l**

In the cows of the II experimental group, the inorganic phosphorus concentration in the blood serum on the 60th day did not change compared to

the beginning. Furthermore, it did not differ from the indicator in the first group. However, only after 90 days it increased ( $p < 0.001$ ) compared to the beginning of the experiment (+ 7.7%) and the first research group (+9.5%).

The macroelement concentration on the 60th day was higher by 31.7% ( $p_4 < 0.001$ ) compared to the control, and after the end – by 55.6% ( $p_4 < 0.001$ ; Fig. 2).

The calcium-phosphorus ratio at the beginning was in the range of 1.30–1.33. On the 60th day, the ratio between macroelements in the blood of cows of the control group was, on average,  $1.54 \pm 0.01$ . After the end of the experiment –  $1.59 \pm 0.01$  and was 19.5% higher ( $p < 0.001$ ) compared to the beginning (Table 1).

In cows of the 1st and 2nd experimental groups, the ratio of calcium to phosphorus using tricalcium phosphate remained unchanged. Thus, in the cows of the 1st experimental group, the ratio of macroelements did not change.

Table 1

**Calcium-phosphorus ratio in blood serum of cows**

A group of cows	Biometric indicator	Research period		
		In the beginning	60 <sup>th</sup> day	90 <sup>th</sup> day
Control, n=15	Lim	1,17–1,44	1,45–1,63	1,53–1,64
	M±m	1,33±0,02	1,54±0,01	1,59±0,01
	p<		0,001	0,001
I experimental, n=15	Lim	1,23–1,44	1,27–1,40	1,27–1,46
	M±m	1,31±0,02	1,33±0,01	1,34±0,01
	p <sub>1</sub> <		0,1	0,5
	p <sub>3</sub> <		0,001	0,001
II experimental, n=15	Lim	1,17–1,39	1,27–1,46	1,18–1,43
	M±m	1,32±0,02	1,36±0,02	1,29±0,02
	p <sub>2</sub> <		0,05	0,5
	p <sub>4</sub> <		0,001	0,001
	p <sub>5</sub> <		0,5	0,05

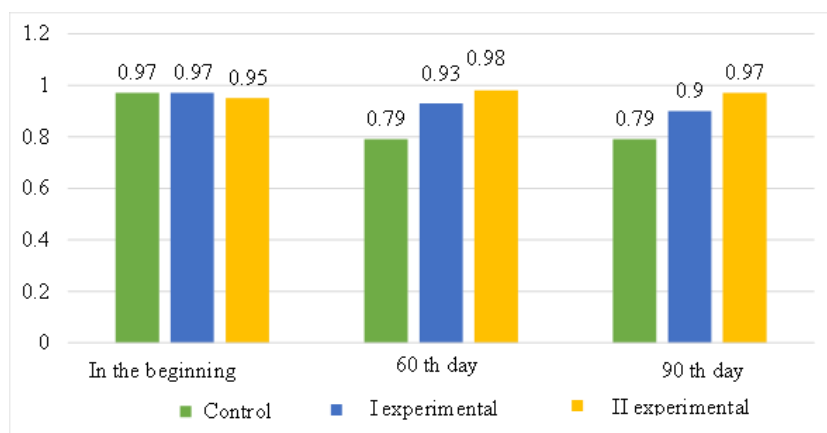
In the beginning, it was  $1.31 \pm 0.02$ , and at the end –  $1.34 \pm 0.01$  ( $p_1 < 0.5$ ), while it was smaller ( $p_3 < 0.001$ ) compared to the control.

In the II experimental group, the calcium-phosphorus ratio did not change. It was  $1.32 \pm 0.01$  at the beginning of the experiment and  $1.29 \pm 0.02$  on the 90th day. Compared to the control on the 60th and 90th day, it was smaller ( $p_4 < 0.001$ ) by 11.7 and 18.9%, respectively. In addition, in the end, the calcium-phosphorus ratio in 5 cows (33.3%) was in the range of 1.18–1.31 and was lower ( $p_5 < 0.05$ ) by 3.7% compared to the index in cows I of the research group.

According to literature data <sup>14</sup>, the ratio of calcium to phosphorus is a reasonably informative diagnostic indicator of osteodystrophy in cows. Therefore, its calculation can be used as an additional criterion for diagnosing osteodystrophy.

The optimal value of the ratio is 1.32–1.68, and its reduction signifies the development of hypocalcemia. Conversely, its increase indicates hypophosphatemia and the development of the aphosphorous form of osteodystrophy <sup>15</sup>.

The magnesium concentration in the blood serum of cows of the control group tended to decrease from 0.97±0.03 mmol/l at the beginning of the experiment to 0.79±0.02 on the 60th and 90th days of the study (p<0.001) (Fig. 3).



**Fig. 3. Magnesium content in blood serum of cows, mmol/l**

The insufficient intake of magnesium in the diet of animals does not always decrease since magnesium is mobilized from depots, primarily muscles and bone tissue <sup>16</sup>. But in our case, the amount of magnesium in the diet was in excess (+132.4% of the need). This leads to the displacement of

<sup>14</sup> Slivinska, L., Demydjuk, S., & Shcherbatyyu A.. Діагностика хвороб, пов'язаних з порушенням обміну речовин у великій рогатій худобі в ННВЦ «Комарнівський» Городоцького району Львівської області. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. Серія: Ветеринарні науки. 2016. Том 18. № 1. С. 220-225.

<sup>15</sup> Долецький С. П. Теоретичне та клініко-експериментальне обґрунтування профілактики порушень мінерального обміну в корів у біогеохімічних зонах України: дис... д-ра вет. наук: 16.00.01. Нац. у-тет біоресурсів та природокористування України. Київ, 2015. 38 с.

<sup>16</sup> Ветеринарна клінічна біохімія [текст]: підручник / В.І. Левченко, В.В. Влізло, І.П. Кондрахін та ін.; за ред. В.І. Левченка і В.Л. Галяса. Біла Церква. 2019. 400 с.

calcium ions from the mineralization processes of bone tissue, resulting in osteodystrophy.

The development of osteodystrophy is deepened by a lack of calcium in the diet, which leads to the activation of mechanisms to support its homeostasis. As a result, even more, calcium depletion of the bone occurs<sup>17,18,19</sup>. In the cows of the control group, a decrease in magnesium concentration in blood serum was noted at the end of the experiment. The cause may be an excess of potassium in the diet, which is its antagonist. The potassium in the diet exceeded the need by 188.3%, which increased its ratio to magnesium, which was 4.45.

During the study, the magnesium concentration in blood serum in group I, tended to decrease from  $0.97 \pm 0.03$  to  $0.93 \pm 0.03$  mmol/l ( $p_1 < 0.5$ ) on the 60th day, and on the 90th, the macroelement content was lower by 7.2% ( $p_1 < 0.05$ ), compared to the beginning. However, it remained within the normal range (Fig. 3). On the 60th and 90th days of the experiment, the average concentration of magnesium in the blood serum of the cows of the first group was higher by 17.7 and 13.9% ( $p_3 < 0.01$ ; 0.001), respectively, compared to the indicator in the cows of the control group. The magnesium concentration was at the same level in the blood serum of cows of the II experimental group, where chelated compounds of microelements were used. In particular, at the beginning of the experiment, its average concentration was  $0.95 \pm 0.02$  mmol/l. On the 60th day,  $-0.98 \pm 0.03$ , and at the end of the experiment, the average magnesium content was  $0.97 \pm 0.02$  mmol / l. On the 60th and 90th days, it was higher by 24.0 and 22.8% ( $p_4 < 0.001$ ), respectively, compared to the indicators of cows of the control group. Compared to the first group of cows, the concentration of magnesium in the blood serum of animals of the second experimental group on the 90th day was higher by 7.8% ( $p_5 < 0.05$ ).

### **3. The content of microelements in the blood of cows with osteodystrophy in the case of using mineral compounds**

Among the trace elements indirectly involved in osteogenesis, an important role belongs to cobalt, copper, manganese, and zinc. The supply of

---

<sup>17</sup> Петренко О.С. Гіпокальціємія і гіпофосфатемія високопродуктивних корів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. вет. наук: спец. 16.00.01 «Діагностика і терапія тварин». Білоцерківський національний аграрний університет. Біла Церква. 2011. 24 с.

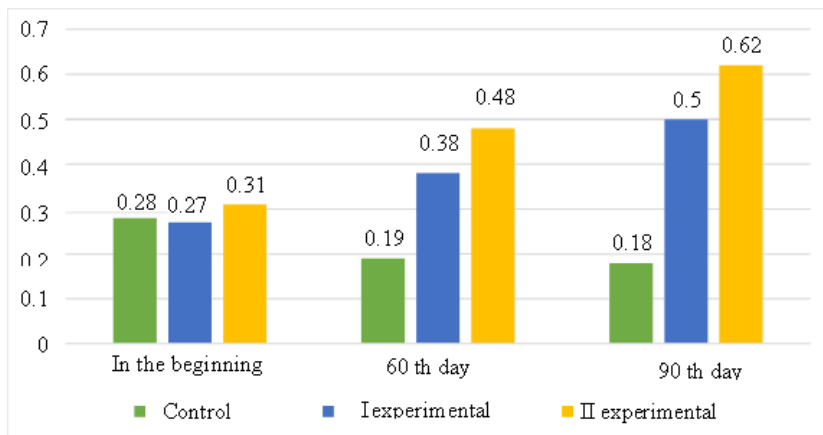
<sup>18</sup> Slivinska, L., Fedorovych, V., Gutyj, B., Lychuk, M., Shcherbaty, A., Gudyma, T., Chernushkin, B., Fedorovych, N. The occurrence of osteodystrophy in cows with chronic micronutrients deficiency. *Ukrainian journal of Ecology*. 2018. Vol. 8. Iss. 2. P. 24-32. Doi: 10.15421/2018\_305.

<sup>19</sup> Bodiako, O., Golovakha, V., Tyshkivskiyi, M., & Shcherbatyi, A. Metabolism macroelements in foals for hypercalcitoninemia. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary Sciences. 2017. T. 19. № 77. P. 80-85. <https://doi.org/10.15421/nvlvet7719>



cobalt and zinc in the diet of farm cows was insufficient <sup>20, 21</sup>. Therefore, we analyzed the effectiveness of using inorganic salts and chelated compounds of trace elements for osteodystrophy of cows.

In the blood of cows of the control group, the cobalt content at the beginning of the study was, on average,  $0.28 \pm 0.011 \mu\text{mol/l}$ . However, during the experiment, its concentration decreased to  $0.19 \pm 0.009$  and  $0.18 \pm 0.004 \mu\text{mol/l}$  on the 60th and 90th days, respectively.



**Fig. 4. Cobalt content in the blood of cows,  $\mu\text{mol/l}$**

Changes in the level of cobalt in the blood of cows of the control group lead to hematopoiesis disorders <sup>22, 23</sup>, which generally complicates the course of osteodystrophy.

The cobalt content in the blood of cows of the first experimental group raised on the 60th day to  $0.38 \pm 0.011 \mu\text{mol/l}$  ( $p_1 < 0.001$ ) and was 40.7% higher compared to the beginning and by 90– to  $0.50 \pm 0.008 \mu\text{mol/l}$  or by 85.2%

<sup>20</sup> Slivinska, L. G., & Fedorovuch, V. L. Clinical status of cows osteodystrophy. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary Sciences. 2015. T. 17. № 1. P. 170-175.

<sup>21</sup> Shcherbatyy A., & Slivinska, L. Effect on indices premix Marmiks exchange trace elements in the pregnant mare. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary Sciences. 2015. T. 17. №1. P. 225-230.

<sup>22</sup> Slivinska, L.G., Shcherbatyy, A.R., Lukashchuk, B.O., Zinko, H.O., Gutyj, B.V., Lychuk, M.G., Chernushkin, B.O., Leno, M.I., Prystupa, O.I., Leskiv, K.Y., Slepokura, O.I., Sobolev, O.I., Shkromada, O.I., Kysterna, O.S., Usiienko, O.V.. Correction of indicators of erythropoiesis and microelement blood levels in cows under conditions of technogenic pollution. *Ukrainian journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. Iss. 2. P.127-135.

<sup>23</sup> Щербатий А.Р., Слівінська Л.Г. Лікувально-профілактична ефективність мінерально-вітамінного преміксу Мармікс за гіпокальтозу і гіпокупрозу кобил. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2013. Том 15, №3 (57). Частина 1. С. 378-385.

( $p_1 < 0.001$ ). Compared with the control, the level of cobalt on the 60th and 90th days of the study was also 2 and 2.8 times more elevated ( $p_3 < 0.001$ ), respectively (Fig. 4).

In the blood of cows of the II experimental group, whose diet included chelated compounds of microelements, the cobalt content on the 60th day of the experiment increased by 54.8% ( $p_2 < 0.001$ ) compared to the beginning and on the 90th day by 100% ( $p_2 < 0.001$ ; Fig. 4). Along with this, its level was higher on the 60th and 90th day of the study by 2.5 and 3.4 times ( $p_4 < 0.001$ ), compared to animals of the control group.

In experimental cows, its content was higher ( $p_5 < 0.001$ ) on the 60th and 90th days of the experiment by 26.3 and 24% compared to the indicator in the first group of animals.

Physiologically, cobalt ions play an indirect role in the processes of osteogenesis. In particular, they mineralize bone tissue through interaction with copper, which generally ensures the synthesis of bone collagen<sup>24, 25</sup>. Cobalt also increases the activity of bone phosphatase, which plays an essential role in the mineralization of bone tissue. In osteoblasts, it catalyzes enzymatic reactions<sup>26, 27</sup>.

The content of copper in the blood of cows of the control group decreased during the entire study period. In particular, on the 60th day, compared with the beginning of the experiment, its level in the blood of cows reduced by 11.9% ( $11.8 \pm 0.05 \mu\text{mol/l}$ ;  $p < 0.001$ ) and by 15.0% at the end of the experiment ( $11.4 \pm 0.02 \mu\text{mol/l}$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 5).

In the blood of cows of the 1st experimental group fed with inorganic salts of trace elements on the 60th and 90th days of the experiment, the average copper content was  $14.2 \pm 0.12$  and  $15.6 \pm 0.05 \mu\text{mol/l}$ , which was higher 5.2 and 15.5% ( $p_1 < 0.001$ ) compared to the beginning ( $13.5 \pm 0.06 \mu\text{mol/l}$ ). It was also established that its content in the blood of cows was 20.3 and 36.8% higher ( $p_3 < 0.001$ ), respectively, compared to the control.

The copper content in the blood of cows of the II group fed with chelated compounds of trace elements on the 60th day of the study averaged

---

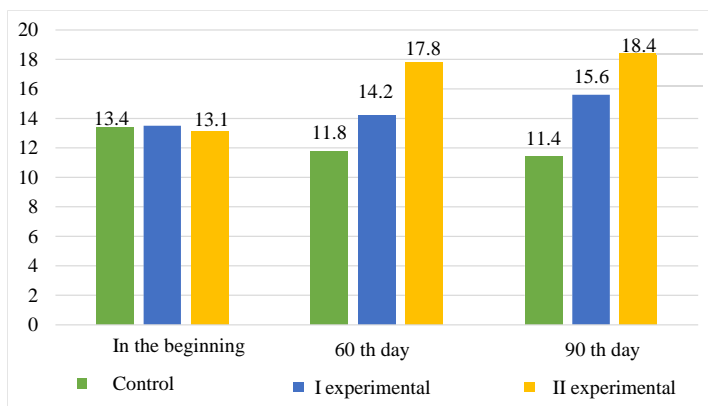
<sup>24</sup> Слівінська Л.Г. Вміст заліза, кобальту, міді, вітаміну В<sub>12</sub> та фолієвої кислоти у крові корів, хворих на хронічну гематурію. *Вісник Білоцерківського державного аграрного університету*: Зб. наук. праць. 2008. Вип. 51. С. 85–90.

<sup>25</sup> Slivinska, L.G., Shcherbatyy, A.R., Lukashchuk, B.O., Zinko, H.O., Gutyj, B.V., Lychuk, M.G., Chernushkin, B.O., Leno, M.I., Prystupa, O.I., Leskiv, K.Y., Slepokura, O.I., Sobolev, O.I., Shkromada, O.I., Kysterna, O.S., Usienko, O.V. Correction of indicators of erythrocytopoiesis and microelement blood levels in cows under conditions of technogenic pollution. *Ukrainian journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. Iss. 2. P.127-135.

<sup>26</sup> Shcherbatyy, A.R., Slivinska, L.G., Gutyj, B.V., Fedorovych, V.L., Lukashchuk, B.O. Influence of Marmix premix on the state of lipid peroxidation and indices of non-specific resistance of the organism of pregnant mares with microelementosis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2019. Vol. 10. Iss. 1. P.87-91. Doi: 10.15421/021914.

<sup>27</sup> Федорович В.Л. Мікроелементні сполуки у профілактиці остеодинтрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гіжцького*. 2011. Т. 14. № 3 (53). Ч. 1. С. 292–297.

17.8±0.22 µmol/l and was higher by 35.8% ( $p_2<0.001$ ) compared to the beginning.



**Fig. 5. Copper content in the blood of cows, µmol/l**

Subsequently, its content also continued to increase ( $p_2<0.001$ ). After the end of the experiment, it averaged 18.4±0.16 µmol/l and was 40.5% higher ( $p_2<0.001$ ) compared to the beginning of the experiment (Fig. 5).

On the 60th and 90th days of the research, the copper content in the blood of the cows of the second group was higher by 50.8 and 61.4% ( $p_4<0.001$ ) compared to the control group of animals. In the blood of cows of the II group, fed with chelated compounds of microelements, the copper content was higher by 25.3 and 18.0% ( $p_5<0.001$ ), compared to the first group, whose diet included inorganic salts of trace elements.

Cuprum ions catalyze enzymatic reactions in osteoblasts, thus contributing to the synthesis of bone tissue and its remodeling<sup>28, 29</sup>. Therefore, using mineral feeding in cows of the I and II experimental cows helps reduce resorption processes; on the other hand, it helps build bone tissue.

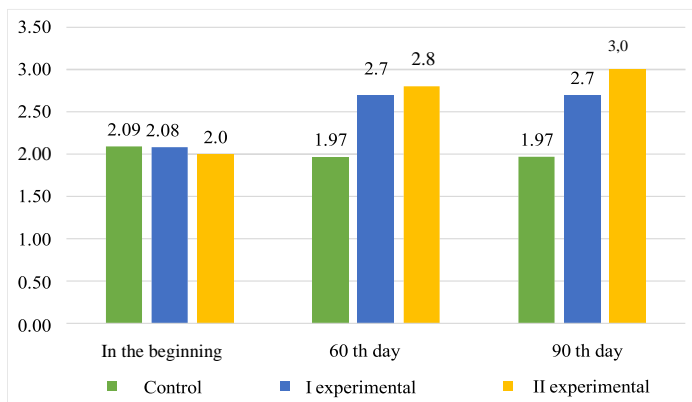
The manganese content in the blood of cows of the control group ranged from 1.95 to 2.20 µmol/l. During the experiment, it decreased from the initial values of 2.09±0.02 to 1.97±0.04 µmol/l at the end of the experiment, which was 5.7%. In the blood of the cows of the first group, the manganese content on the 60th and 90th days increased by 29.8% ( $p_1<0.001$ ) compared to the

<sup>28</sup> Rondanelli M., Faliva M.A., Infantino V., Gasparri C., Iannello G., Perna S., Riva A., Petrangolini G., Tartara A., Peroni G. Copper as Dietary Supplement for Bone Metabolism: A Review. *Nutrients*. 2021. №13(7). P. 2246. doi: 10.3390/nu13072246

<sup>29</sup> Slivinska L.G, Shcherbatyy A.R., Lukashchuk B.O. Hypocobaltosis and hypocuprosis in pregnant mares in the western biogeochemical zone of Ukraine (distribution, diagnosis). *Ukrainian journal of veterinary and agricultural sciences*. 2018. Vol 1 (2). P. 11-14. doi: 10.32718/ujvas1-2.03

beginning. The indicator was also 37.0% ( $p_3 < 0.001$ ) higher compared to the control group of cows (Fig. 6).

In the blood of cows of the II experimental group, the average manganese content on the 60th day was  $2.8 \pm 0.05 \mu\text{mol/l}$  on average. However, on the 90th day –  $3.0 \pm 0.03 \mu\text{mol/l}$ , and was higher by 40.0 and 50.0% ( $p_2 < 0.001$ ), compared to the beginning of the study ( $2.0 \pm 0.02 \mu\text{mol/l}$ ).



**Fig. 6. Manganese content in the blood of cows,  $\mu\text{mol/l}$**

On the 60th and 90th days of the experiment, the manganese content was higher by 42.1 and 52.3% ( $p_4 < 0.001$ ) compared to the control group of animals (Fig. 6).

In addition, in the blood of cows of the II group, which were fed chelated compounds of microelements, on the 90th day of the experiment, the manganese content was higher by 11.1% ( $p_5 < 0.001$ ), compared to the index of cows of the I group, which included the diet included inorganic compounds of trace elements (Fig. 6.).

Manganese, in ossification processes, activates bone alkaline phosphatase and participates in the mineralization of collagen fibrils of bone tissue<sup>30, 31, 32</sup>. In the I and II experimental groups, under the influence of the use of inorganic and chelated compounds of microelements, the mechanism of mineralization of bone tissue was restored.

<sup>30</sup> Rondanelli M., Faliva M.A., Peroni G., Infantino V., Gasparri C., Iannello G., Perna S., Riva A., Petrangolini P., Tartara A. Essentiality of Manganese for Bone Health: An Overview and Update. *Natural Product Communications*. 2021. № 16(5). doi:10.1177/1934578X211016649

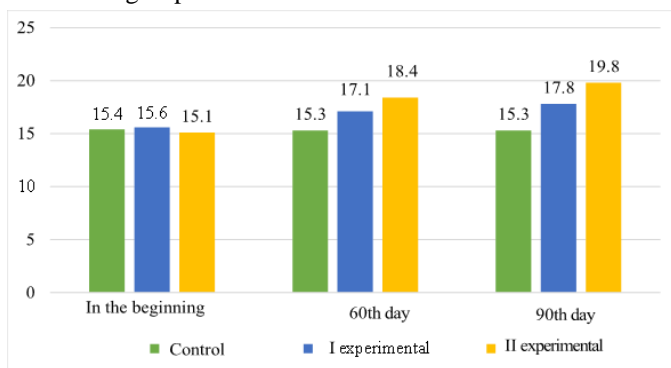
<sup>31</sup> Beattie J.H., Avenel A. Trace element and bone metabolism. *Nutrition Research Reviews*. 1992. №5. P.167–188.

<sup>32</sup> Underwood E.J., Suttle N. F. The Mineral Nutrition of Livestock. CABI Publishing. 2021. 614 p.

The zinc content in the blood of the cows of the experimental and control groups at the beginning of the research was at the lower limit of physiological fluctuations. During the study, it continued to remain unchanged in the blood of the cows of the control group, as its deficiency was detected in the diet (39.2% to the requirement), which does not make it possible to ensure its proper level in the blood of the animals of this group.

In the blood of cows of the 1st experimental group, an increase in zinc content was established by 9.6% ( $p_1 < 0.001$ ) (60th day) and by 14.1% (90th day;  $p_1 < 0.001$ ) than in the beginning of the experiment and at 11.8 and 16.3% ( $p_3 < 0.001$ ) compared to the control group of animals (Fig. 7). In the blood of cows of the II research group, the use of chelated zinc compounds on the 60th and 90th days caused an increase in its content by 21.8 and 31.1% ( $p_2 < 0.001$ ) compared to the beginning of the study. The level of zinc was also higher by 20.2 and 29.4% ( $p_4 < 0.001$ ), respectively, compared to animals of the control group.

The chelated compounds of microelements in cows of the II research group showed a better therapeutic effect since the zinc content was higher on the 60th day of the study – by 7.6% ( $p_5 < 0.001$ ), on the 90th – by 11.2% compared to the I group.



**Fig. 7. Zinc content in the blood of cows, µmol/l**

In the blood of cows of the I and II experimental groups, restoring the zinc level to optimal values indicates the cessation of bone tissue demineralization processes since its biological role in osteogenesis is related to bone mineralization<sup>33, 34</sup>.

Therefore, the use of inorganic and chelated compounds of trace elements for osteodystrophy of cows contributes to the normalization of the blood's cobalt, copper, manganese, and zinc content.

<sup>33</sup> Beattie J.H., Avenel A. Trace element and bone metabolism. *Nutrition Research Reviews*. 1992. №5. P.167–188.

<sup>34</sup> Судаков М.О., Береза В.І., Погурський І.Г. Мікроелементози сільськогосподарських тварин. Київ: Урожай. 1992.

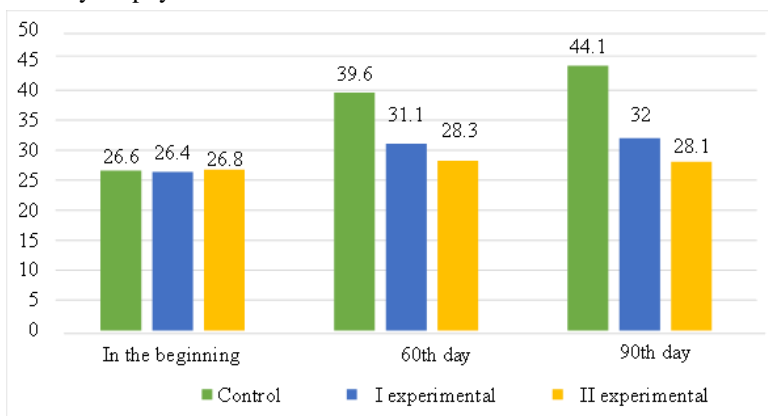
#### 4. Changes in the indicators of connective tissue metabolites in the blood serum of cows with osteodystrophy during the application of trace elements

Bone tissue in its composition contains many organic components (collagen and non-collagen proteins, glycosaminoglycans, etc.), the determination of which can be used to diagnose disorders of mineral metabolism, in particular, osteodystrophy in animals <sup>35</sup>.

The total glycosaminoglycans (GAG) content in the blood serum of cows of the control group was, on average,  $26.6 \pm 0.63$  mg/100 ml. However, on the 60th and 90th days of the experiment, the content of total GAG grew to  $39.6 \pm 0.67$  and  $44.1 \pm 0.47$  mg/100 ml, respectively ( $p < 0.001$ ). An increase in the total GAG content in the cows' blood serum indicates the destruction and resorption of the organic part of the bone, which is an indicator of the clinical stage of osteodystrophy.

In the cows of the first experimental group, the average content of total GAGs during the study also increased from the initial –  $26.4 \pm 0.56$  to  $31.1 \pm 0.39$  mg/100 ml at 60 and  $32.0 \pm 0.40$  mg/100 ml – 90 days of the experiment. In addition, it was greater by 17.8 and 21.2% ( $p_1 < 0.001$ ), compared to the initial indicator. However, relative to the control group, the content of total GAGs on the 60th and 90th day of the study was lower by 21.4 and 27.4% ( $p_3 < 0.001$ ), respectively.

The increase in the content of total GAGs in the blood serum of the cows of the first research group to the indicated values is the result of the decay of the organic part of the bone, which is characteristic of the subclinical course of osteodystrophy.



**Fig. 8. Content of total GAGs in blood serum of cows**

<sup>35</sup> Маслак Ю.В., Собакар А.В. Етіопатогенез остеодинтрофії у кіз зааненської породи. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2015. №1-2. С.119-123.

In the cows of the second experimental group, which were fed with chelated compounds of microelements during the study, the content of total GAG in the blood serum increased on the 60th day ( $p_2 < 0.05$ ; Fig. 8), but on the 90th day – it remained at the level of  $28, 1 \pm 0.34$  mg/100 ml, which is 4.9% more ( $p_2 < 0.05$ ) compared to the beginning of the experiment ( $26.8 \pm 0.55$  mg/100 ml). In contrast to the control group, the content of total GAGs on the 60th and 90th days was 1.40 and 1.57 times lower ( $p_4 < 0.001$ ) and 9.0 and 12.2% descending than the values of the first experimental group groups.

Analysis of the fractional composition of total GAGs in blood serum showed that the content of all three fractions increased in cows of the control group during the study. In particular, on the 90th day of the experiment, the content of X-6-C – by 63.2%, X-4-C – by 49.1%, and the third fraction – by 87.3% increased significantly ( $p < 0.001$ ) compared to the beginning of the experiment.

In the cows of the first group, the indicators of each of the three fractions of GAG increased during the experiment. On the 90th day, they were higher by 20.4, 14.4, and 21.2% ( $p_1 < 0.001$ ), compared to the beginning, and relative to the control group of cows, their concentration at the end of the study was lower by 27.2%; 21.6 and 27.4% ( $p_3 < 0.001$ ).

In the cows of the second experimental group, chelated compounds of trace elements were used by an increase in the content of X-6-C, keratan, heparan and dermatan sulfates, and heparin. On the 90th day, their content was higher by 6.1 and 9.7% ( $p_2 < 0.001$ ), respectively, compared to the beginning of the experiment. It was lower by 33.2%, 36.4 and 42.4% ( $p_4 < 0.001$ ) than in the control group and by 8.2; 18.8 and 15.0% ( $p_5 < 0.001$ ) compared to the indicators of cows of the first research group.

An increase in the content of all fractions of GAG in the blood serum of cows of the control group indicates the breakdown of the components of the intercellular matrix of bone tissue.

In addition, we determined the redistribution of GAG fractions – X-6-C, X-4-C, and keratan-, heparan-, dermatan sulfate, and heparin (Table 2). In the cows of the first experimental group, the percentage of the first and second fractions of GAG remained stable, while the redistribution took place at the expense of the third. Thus, the use of chelated compounds of microelements showed a better therapeutic effect, compared to inorganic salts, as it contributed to the stabilization of the content of biopolymers in the cows of the second research group.

Table 2

**Redistribution of HAG fractions during the study, in percent**

GAG fractions	Control group			The first is experimental			The second is experimental		
	In the beginning	60 <sup>th</sup> day	90 <sup>th</sup> day	In the beginning	60 <sup>th</sup> day	90 <sup>th</sup> day	In the beginning	60 <sup>th</sup> day	90 <sup>th</sup> day
Chondroitin-6-sulfate	54,1	56,5	53,3	53,8	55,3	53,4	55,2	52,6	55,9
Chondroitin-4-sulfate	22,2	20,2	19,9	22,7	21,9	21,6	21,7	23,0	19,9
Keratan, heparan, dermatan sulfates and heparin	23,7	23,3	26,8	23,5	22,8	25,0	23,1	24,4	24,2
The amount of GAG	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

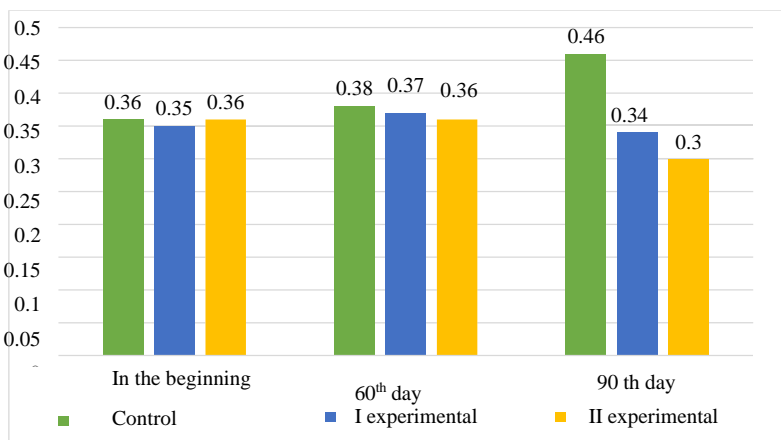
The concentration of another metabolite of connective tissue – chondroitin sulfate at the beginning of the experiment was higher in all groups compared to the indicators of clinically healthy cows. In the blood serum of cows of the control group, the concentration of chondroitin sulfates continued to increase from  $0.36 \pm 0.01$  mg/100 ml to  $0.38 \pm 0.01$  mg/100 ml ( $p < 0.5$ ) on the 60th day and up to  $0.46 \pm 0.01$  mg/100 ml after the end of the experiment ( $p < 0.001$ ; Fig. 9).

Before feeding inorganic salts of microelements in the cows of experimental group I, the content of chondroitin sulfates was, on average,  $0.35 \pm 0.01$  g/l and did not change during the experiment ( $0.34 \pm 0.01$  g/l). At the same time, on the 90th day of the experiment, their concentration was lower by 26.1% ( $p_3 < 0.001$ ) compared to animals of the control group, which is explained by the therapeutic effect of inorganic salts of trace elements.

The chondroitin sulfates concentration in the cows of the second experimental group decreased from  $0.36 \pm 0.01$  g/l at the beginning of the experiment to  $0.30 \pm 0.01$  g/l. At the end of the experiment ( $p_2 < 0.001$ ), and corresponded to the indicators of clinically healthy animals. On the 90th day of the experiment, their content was probably ( $p_4 < 0.001$ ) lower by 34.7% compared to the indicators in the control group of cows and by 11.7% ( $p_5 < 0.05$ ) compared to the first experimental group (Fig. 9).

At the beginning of the study, the sialoglycoproteins concentration in the blood serum of the cows of the experimental groups did not differ from the indicators of clinically healthy cows. However, in the blood serum of cows of the control group, the concentration increased on the 60th day and averaged  $3.28 \pm 0.05$  mmol/l, and on the 90th day –  $3.88 \pm 0.06$  mmol/l, which was higher on the 70,0 and 100% ( $p < 0.001$ ), respectively, compared to the beginning (Fig. 10).



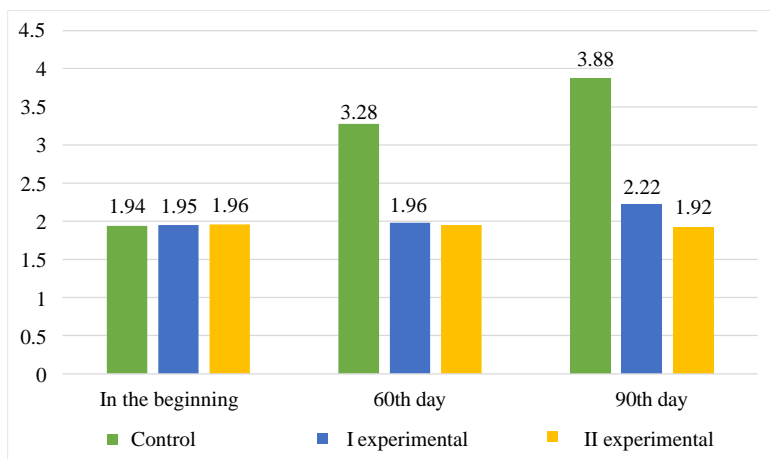


**Fig. 9. Content of chondroitin sulfates in blood serum of cows, g/l**

Such an increase in sialoglycoproteins indicates the deepening of pathological processes and the development of the clinical stage of osteodystrophy, in which the destruction of organic components of bone tissue increases.

In the first experimental group, the sialoglycoproteins concentration at the beginning of the experiment was, on average,  $1.95 \pm 0.05$  mmol/l, and the 90th day of the experiment –  $2.22 \pm 0.03$  mmol/l ( $p_1 < 0.001$ ; Fig. 10). Such indicators were typical for cows with a subclinical stage of osteodystrophy. It should be noted that the concentration of sialoglycoproteins in the blood serum of cows of the 1st experimental group, which were fed inorganic salts of trace elements, was lower by 42.8% ( $p_3 < 0.001$ ) compared to their level in the control group of animals (Fig. 10).

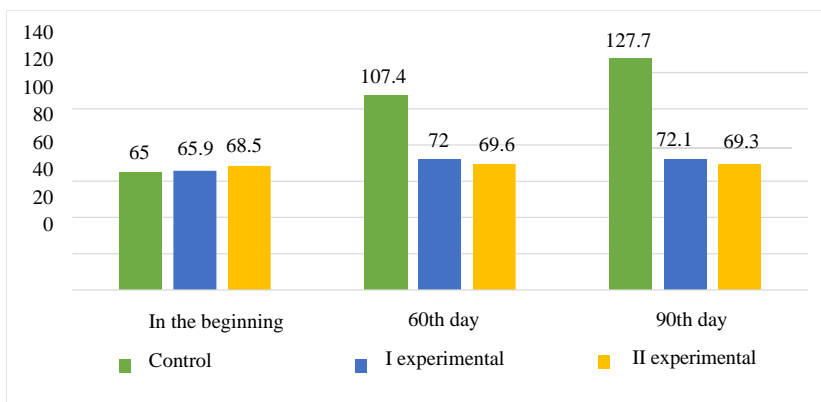
In the cows of the second experimental group, the concentration of sialoglycoproteins in blood serum, which received chelated compounds of microelements, did not change ( $p_2 < 0.5$ ). However, compared to the control group of animals, on the 90th day of the experiment, their concentration was lower by 50.5% ( $p_4 < 0.001$ ) and by 13.5% ( $p_5 < 0.001$ ) compared to the first experimental group (Fig. 10).



**Fig. 10. Content of sialoglycoproteins in blood serum of cows, mmol/l**

Oxyproline is a component of collagen and reflects its catabolism. Its content in the blood serum of cows of the control group during the experiment increased from  $65.0 \pm 1.72 \mu\text{mol/l}$  to  $107.4 \pm 2.48$  and  $127.7 \pm 0.92 \mu\text{mol/l}$ . On the 60th and 90th days, which were 1.65 and 1.97 ( $p < 0.001$ ) times higher, respectively, compared to the beginning of the study (Fig. 11). An increase in the concentration of oxyproline indicates the destruction of collagen in bone tissue.

The oxyproline concentration in the blood serum of cows of the 1st group at the beginning of the experiment was, on average,  $65.9 \pm 1.45 \mu\text{mol/l}$ . However, on the 90th day –  $72.1 \pm 0.86 \mu\text{mol/l}$  ( $p_1 < 0.01$ ) was smaller by 43.5% ( $p_3 < 0.001$ ) than in cows of the control group (Fig. 11).



**Fig. 11. Oxyproline content in blood serum of cows, μmol/l**

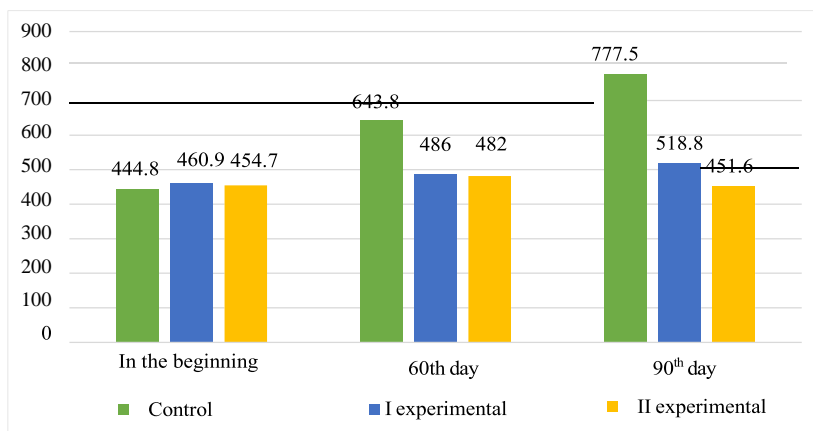
In cows of the II experimental group, the results of the determination of oxyproline in blood serum were characterized by constant values (Fig. 11). On the 90th day of the experiment, the content of oxyproline in the blood serum of cows of the II group was lower by 45.7% ( $p_4 < 0.001$ ) compared to the control group, and compared to the I group by 4.0% ( $p_5 < 0.05$ ).

The central part of oxyproline is excreted in the urine due to the breakdown of collagen. Thus, the concentration of oxyproline in the urine of cows of the control group at the beginning of the experiment was  $444.8 \pm 7.87 \mu\text{mol/l}$ . However, in the end, it increased on average to  $777.5 \pm 7.15 \mu\text{mol/l}$  ( $p_1 < 0.001$ ) and was higher by 74.8% compared to the beginning of the experiment (Fig. 12).

In the urine of cows of the 1st experimental group, the concentration of oxyproline also increased ( $p_1 < 0.001$ ), but fluctuated within the reference values corresponding to the indicators of clinically healthy cows.

On the 60th and 90th days of the study, the average concentration of oxyproline in the urine of cows of the 1st experimental group, which were fed inorganic salts of trace elements, was lower by 24.5 and 33.3% ( $p_3 < 0.001$ ), respectively, compared to the control group of cows (Fig. 12).

When feeding chelated compounds of trace elements in the cows' urine, the oxyproline concentration increased slightly on the 60th day. After the end of the experiment, it decreased and did not differ from the initial level ( $p_2 < 0.5$ ; Fig. 12). At the same time, on the 60th and 90th days, the concentration of the marker in the urine was probably lower by 25.1 and 42.0%, respectively, compared to the control group of cows ( $p_4 < 0.001$ ), and the difference with the indicators in cows of the 1st group was smaller by 13.0% ( $p_5 < 0.001$ ) only on the 90th day. Thus, in cows fed inorganic salts of microelements, an increase in total GAG, chondroitin sulfates, and sialoglycoproteins in blood serum and oxyproline in urine was increased established. Stabilization (sialoglycoproteins) and reduction (total GAG, chondroitin sulfates, and oxyproline) of markers of connective tissue metabolism were established in cows receiving chelated compounds of microelements, which indicates the suspension of destructive processes in the bone tissue of the studied cows.



**Fig. 12. Concentration of oxyproline in the urine of cows,  $\mu\text{mol/l}$**

Therefore, using chelated compounds of microelements gave a better therapeutic and preventive effect than inorganic salts of minerals<sup>36</sup>.

### 5. The concentration of citric acid in the blood serum of cows when using trace elements

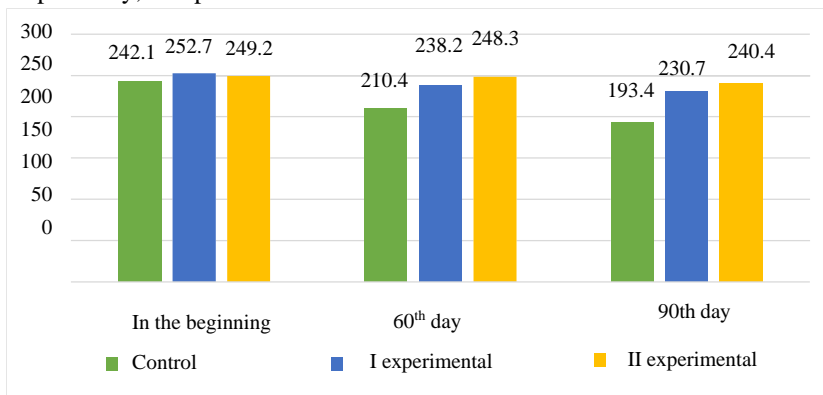
We studied the dynamics of citric acid in the blood serum of cows with the comparative use of inorganic salts and chelated compounds of microelements.

At the beginning of the study, the citric acid content in the blood serum of cows of all experimental groups ranged from 227.2 to 262.4  $\mu\text{mol/l}$ , corresponding to the indicators of clinically healthy cows.

The citric acid content is a highly informative indicator of the state of bone tissue. After 60 and 90 days from the beginning of the study, the blood serum of cows of the control group decreased to  $210.4 \pm 6.06$  and  $193.4 \pm 3.10$   $\mu\text{mol/l}$  ( $p < 0.001$ ), respectively (Fig. 13), which is a sign of bone tissue resorption and disruption of its mineralization processes, which occur as a compensatory phenomenon for maintaining calcium homeostasis in the blood. Therefore, the subclinical course of osteodystrophy deepens in cows of the control group.

Sixty days after the start of the application of inorganic salts of trace elements in the cows of the 1st experimental group, the concentration of citric acid in blood serum was, on average,  $238.2 \pm 1.44$   $\mu\text{mol/l}$ , and on the 90th day –  $230.7 \pm 1.14$   $\mu\text{mol/l}$ , and was less by 5.7 and 8.7% ( $p_1 < 0.001$ ) compared to the beginning of the experiment (Fig.13).

It should be noted that the concentration of citric acid decreased in the experimental group of cows, but the average values corresponded to the indicators obtained in clinically healthy cows. In addition, the concentration of citric acid in the blood serum of cows of the 1st research group on the 60th and 90th day of the study remained higher by 13.2 and 19.3% ( $p_3 < 0.001$ ), respectively, compared to the control.



**Fig. 13. Concentration of citric acid in blood serum studied cows,  $\mu\text{mol/l}$**

<sup>36</sup> Федорович В.Л. Профілактика остеодистрофії корів в умовах біогеохімічної зони регіону / В.Л. Федорович // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2011. Том. 13. №4 (50). Ч. 1. С. 472–476.

The concentration of citric acid in the blood serum of cows of the II research group receiving chelated compounds of microelements during the study period was within limits corresponding to the indicators of clinically healthy cows.

Throughout the experiment, the concentration of citric acid in the II group of cows did not differ among themselves, compared to the beginning of the study, but on the 90th day, it decreased (3.5%), compared to the beginning ( $249.2 \pm 1.85 \mu\text{mol/l}$ ;  $p_2 < 0.001$ ). After comparing the II and I research groups, we found that on the 60th and 90th day, the concentration of citric acid in the first was probably ( $p_5 < 0.05$  and  $p_5 < 0.001$ ;) higher. Therefore, analyzing the obtained research results, we established a positive (stabilizing) effect of mineral feeding on the concentration of citric acid in the blood serum of the cows of the experimental groups.

Although the average concentration of citric acid in the cows of the 1st experimental group corresponded to the content of clinically healthy animals, it still tended to decrease. Its stable concentration in the blood serum of cows of the II research group is connected with the fact that chelated compounds of microelements have a higher degree of assimilation than inorganic salts.

## **6. The vitamins A, E, and 25OHD<sub>3</sub> content in blood serum for osteodystrophy of cows in the case of the use of trace elements and vitamins**

Analysis of vitamin D metabolite content (25OHD<sub>3</sub>) in cows of all groups established that its concentration at the beginning of the study was below standard.

In the blood serum of cows of the control group at the beginning, the content of 25OHD<sub>3</sub> ranged from 16.3 to 18.5 nmol/l ( $17.5 \pm 0.16$ ). At the end of the experiment, its average concentration remained unchanged and averaged  $17.7 \pm 0.13 \text{ nmol/l}$  ( $p < 0.5$ ; Fig. 14).

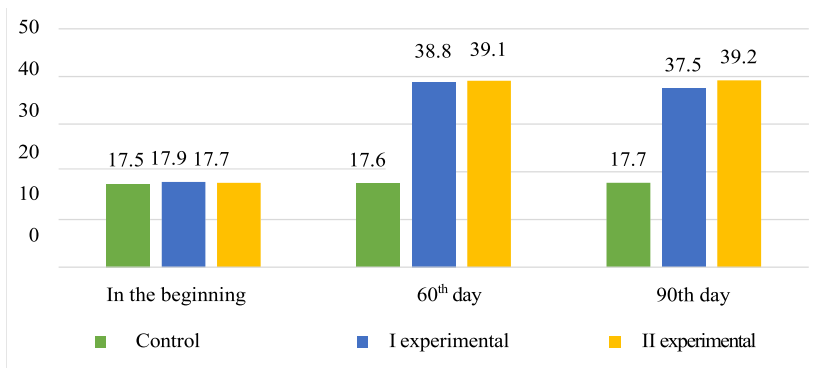
Low-level 25OHD<sub>3</sub> in the blood serum of cows of the control group during the study indicates the development of D-hypovitaminosis and osteodystrophy<sup>37, 38, 39</sup>. The reason for its low concentration is, first of all, an insufficient amount in the diet, which cannot provide the proper level in the blood serum of the cows of the control group.

---

<sup>37</sup> Тишківська Н.В. Інформативність показників вуглеводно-білкових сполук під час діагностики порушень D-вітамінного і фосфорно-кальцієвого обміну у бичків на відгодівлі. *Вісник Білоцерківського державного аграрного університету*. 2008. № 51. С. 94–98.

<sup>38</sup> B.O. Chernushkin, V.V. Vlizlo, L.G. Slivinska, B.V. Gutyj, A.R. Shcherbaty, I.A. Maksymovych, M.I. Leno, V.I. Rusyn, M.H. Lychuk, V.L. Fedorovych, B.O. Lukashchuk, H.O. Zinko, O.I. Prystupa. Treatment strategies for sheep with acute yellow atrophy of the liver caused by the fasciolosis. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. №10(2). P.294-301. doi: 10.15421/2020\_100.

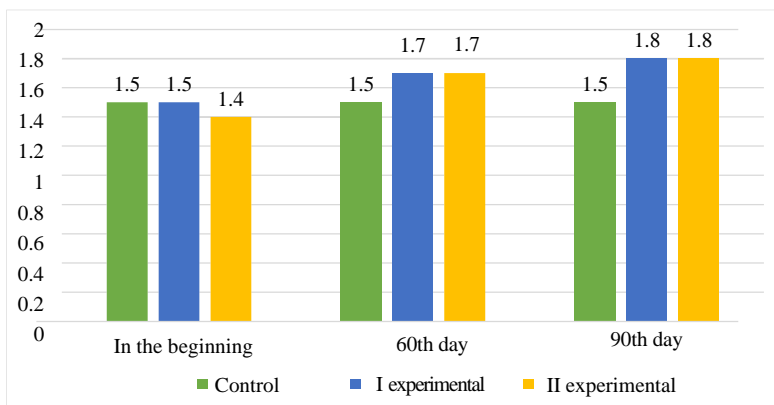
<sup>39</sup> Шарандак П.В., Левченко В.І. Гепатоостеодистрофічний синдром у вівцематок Сходу України. *Вісник аграрної науки*. 2017. №9. С. 35-39.



**Fig. 14. Content of 25(OH)D<sub>3</sub> in blood serum of cows, nmol/l**

Application of mineral feeding in combination with vitamins I and II to experimental groups of cows on the 60<sup>th</sup> day of the study led to an increase in 25OHD<sub>3</sub> from 17.9±0.07 to 38.8±1.38 nmol/l ( $p_1 < 0.001$ ) and from 17.7±0.14 to 39.1±1.18 nmol/l ( $p_2 < 0.001$ ), which is 2.2 times higher, respectively, with the beginning (Table 15).

The increase in the concentration of 25OHD<sub>3</sub> in the blood serum of the same animals continued in the subsequent period of the study. On the 90<sup>th</sup> day of the experiment, it was higher by 109.5 and 121.5%, respectively, compared to the beginning. At the same time, in experimental groups I and II, already on the 60<sup>th</sup> day of the study, the concentration of 25OHD<sub>3</sub> was 2.2 times higher ( $p_3 < 0.001$ ;  $p_4 < 0.001$ ) compared to the control. The vitamin A content at the beginning in the blood serum of the control and experimental groups of cows was practically the same. It was within the physiological range (Fig. 15).



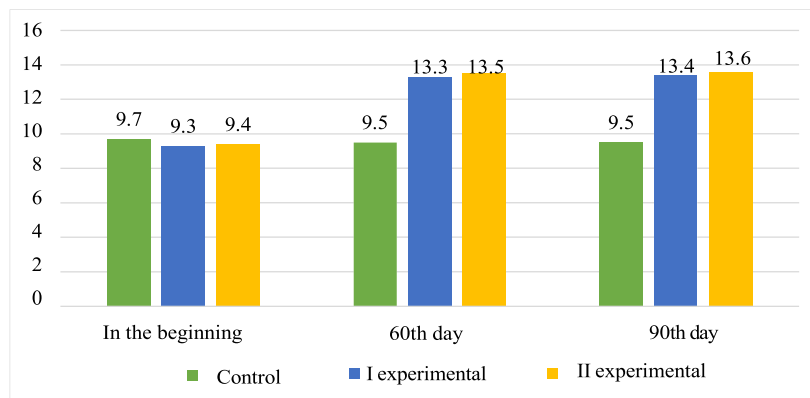
**Fig. 15. Vitamin A content in blood serum of cows, µmol/l**

In the blood serum of cows of the control group, the content of vitamin A during the study remained at the initial values ( $1.5 \pm 0.01 \mu\text{mol/l}$ ) and was within the physiological range (Fig. 15). It should be noted that despite the insufficient provision of the diet with its provitamin – carotene (70.4% of the need), the amount of retinol in the blood serum was adequate due to the depot organ (liver)<sup>40, 41</sup>.

After 60 and especially after 90 days, an increase in the content of vitamin A in the blood serum of cows of the I and II groups was noted by 13.3 and 21.4% ( $p_1 < 0.01$  and  $0.001$ ) and 20.0 and 28.6% ( $p_2 < 0.001$ ), respectively, compared to the beginning (Fig. 15).

Similar results were obtained when compared with the control group of cows ( $p_3 < 0.001$ ;  $p_4 < 0.001$ ), but there was no difference in vitamin A content between the indicators of cows in both experimental groups.

The content of vitamin E in the blood serum of cows of the control and experimental groups at the beginning of the experiment was within the physiological range (Table 3). In the blood serum of cows of the control group, its average amount was  $9.7 \pm 0.13 \mu\text{mol/l}$ . At the end of the research, changes in the concentration of vitamin E ( $9.5 \pm 0.11 \mu\text{mol/l}$ ) were not established, but it was normal (Fig. 16).



**Fig. 16. Vitamin E content in blood serum of cows,  $\mu\text{mol/l}$**

In the blood serum of cows of the I and II experimental groups on the 60th day, an increase in the concentration of vitamin E was established by 43.0 ( $p_1 < 0.001$ ) and 43.6% ( $p_2 < 0.001$ ), respectively, compared to the beginning (Fig. 16).

<sup>40</sup> Стадник А.М., Федорович В.Л. Вітаміни А, D, E і остеокальцин у крові корів за ензоотичної остеодистрофії та в процесі комплексної терапії. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2008. Том 10. №3 (38). Ч. 1. С. 234–239.

<sup>41</sup> Щербатий А.Р. Вміст вітамінів А і Е у крові жеребних кобил. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2010. Том 12. № 2 (44). Ч. 1. С. 350-354.

Table 3

**The content of vitamin E in the blood serum of cows,  $\mu\text{mol/l}$**

Groups of cows	Biometric indicator	Research period		
		In the beginning	60 <sup>th</sup> day	90 <sup>th</sup> day
Control, n=15	Lim	8,7–10,5	8,8–10,3	8,9–10,0
	M $\pm$ m	9,7 $\pm$ 0,13	9,5 $\pm$ 0,22	9,5 $\pm$ 0,11
	p<		0,5	0,5
I experimental, n=15	Lim	8,85–9,95	10,5–15,6	10,9–16,6
	M $\pm$ m	9,3 $\pm$ 0,08	13,3 $\pm$ 0,7	13,4 $\pm$ 0,42
	p <sub>1</sub> <		0,001	0,001
	p <sub>3</sub> <		0,001	0,001
II experimental, n=15	Lim	8,75–10,1	11,1–15,5	11,7–16,9
	M $\pm$ m	9,4 $\pm$ 0,09	13,5 $\pm$ 0,6	13,6 $\pm$ 0,38
	p <sub>2</sub> <		0,001	0,001
	p <sub>4</sub> <		0,001	0,001
	p <sub>5</sub> <		0,5	0,5

At the experiment's end, the vitamin E concentration did not change and remained constant. Compared with the control group of cows, on the 60th and 90th days of the study, the concentration of vitamin E in the same animals was higher by 40.0 and 43.1% ( $p < 0.001$ ), respectively (Fig. 16). It should be noted that the vitamin E content of the cows of the second experimental group was the same as that of the animals of the first experimental group ( $p_5 < 0.5$ ). The data we obtained show that using inorganic salts and chelated compounds of microelements together with vitamins A, D, and E for osteodystrophy contributes to a complete normalization of the content of the studied vitamins in the blood of cows.

## CONCLUSIONS

1. The administration of trace elements in chelated and inorganic forms for 90 days caused the disappearance of trace element deficiency symptoms and the stabilization of connective tissue metabolites in the blood serum of cows with osteodystrophy. The total glycosaminoglycans concentration in the cows of the first and second experimental groups was  $32.0 \pm 0.40$  ( $p < 0.001$ ) and  $28.1 \pm 0.34$  mg/100ml ( $p < 0.001$ ), sialoglycoproteins –  $2.22 \pm 0.13$  and  $1.92 \pm 0.14$  mmol/l ( $p < 0.001$ ), chondroitin sulfates –  $0.34 \pm 0.07$  and  $0.30 \pm 0.01$  g/l ( $p < 0.001$ ), urinary oxyproline –  $518.8 \pm 2.82$  and  $451.6 \pm 1.86$   $\mu\text{mol/l}$  ( $p < 0.001$ ). In contrast, in the control group, these indicators were probably higher. In the cows of the first experimental group, the concentration of total calcium in blood serum on the 90th day was higher by 18.9% ( $p < 0.001$ ), inorganic phosphorus – by 42.0%, compared to the control, and in the cows of the second experimental group, who received chelated compounds of



microelements, by 28.8 and 55.5% ( $p < 0.001$ ), respectively. Compared to the beginning of the experiment, the level of 25OHD<sub>3</sub> increased by 2.2 times – from 17.9±0.07 to 37.5±0.75 nmol/l ( $p < 0.001$ ) and from 17.7±0.14 to 39.2±0.63 nmol/l ( $p < 0.001$ ), vitamin A and E – by 21.4 and 40.0 and 28.6 and 43.1%, respectively ( $p < 0.001$ ).

2. The concentration of citric acid in the blood serum of the cows of the experimental groups increased by 19.2 and 24.3% ( $p < 0.01$ ), respectively, compared to the control. In the control group, it decreased to 193.4±7.81 μmol/l for norms of 210–250 μmol/l, which indicates the development of destructive processes in bone tissue.

3. Supplementing the cows of the research group with inorganic salts of microelements helped to increase the content of zinc, cobalt, manganese, and copper in the blood by 17.1; 65.2; 29.6 and 29.7%, and the use of chelating compounds, respectively, by 19.1%; 100; 40.4 and 38.7% compared to the control group.

## SUMMARY

With the modern method of dairy farming, the significant spread of diseases caused by metabolic disorders remains an urgent problem. Osteodystrophy is particularly common among the latter. The relationship between the content of trace elements in the soil, fodder, and blood of cows with osteodystrophy in an area depleted of biogenic trace elements was established. Early diagnostic indicators of the subclinical course of osteodystrophy in cows are a low serum level of citric acid (147.6–178.5 μmol/l), osteocalcin (0.93–1.28 ng/l), 25(OH)D<sub>3</sub> (22.1–24.3 nmol/l), retinol (1.10–2.02 μmol/l), tocopherol (7.0–10.0 μmol/l), an increase in total glycosaminoglycans (32.4–41, 2 mg/100 ml), chondroitin sulfates (0.29–0.37 g/l), sialoglycoproteins (2.29–2.97 mmol/l). The use of chelated compounds in cows restores the clinical status and indicators of macro- and microelement exchanges and stabilizes the content of markers of connective tissue metabolism.

## Bibliography

1. Мікроелементози сільськогосподарських тварин / М.О. Судаков, В.І. Береза, І.Г. Погурський [та ін.]. Київ: Урожай. 1991. 144 с.
2. Shcherbaty, A.R., Slivinska, L.G., Gutyj, B.V., Golovakha, V.I., Piddubnyak, O.V., Fedorovuch, V.L. The influence of a mineral-vitamin premix on the metabolism of pregnant horses with microelementosis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Vol. 8 Iss. 2. P. 293-298. Doi: 10.15421/021746.
3. Влізло В.В., Сологуб Л.І., Янович В.Г., Антоняк Г.Л., Янович Д.О. Біохімічні основи нормування мінерального живлення великої рогатої худоби. 2. Мікроелементи. *Біологія тварин*. 2006. Т. 8. No 1–2. С. 41–62.

4. Slivinska, L., Demydjuk, S., ShcherbatyyA., Fedorovich, V., & Tyndyk, I. Етіологія та клініко-біохімічні показники крові за аліментарної остеодистрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини і біотехнологій імені С. З. Гжицького*. Серія: Ветеринарні науки. 2017. Том 19. № 73. С. 79-83. <https://doi.org/10.15421/nvlvet7317>
5. Shcherbatyy, A., Slivinska, L., & Lukashchuk, B. Hypocobaltosis and hypocuprosis in pregnant mares in the western biogeochemical zone of Ukraine (distribution, diagnosis). *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2018. № 1(2). P. 11-14. <https://doi.org/10.32718/ujvas1-2.03>
6. Слівінська, Л.Г., Демидюк С.К., Щербатий А.Р. Синдроматика та стан метаболічних процесів у корів за мікроелементозів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2017. Т. 19. № 78. С. 182–186.
7. Федорович В.Л. Профілактика остеодистрофії корів в умовах біогео– хімічної зони регіону. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2011. Том. 13. №4 (50). Ч. 1. С. 472–476.
8. Slivinska, L., Fedorovych, V., Gutyj, B., Lychuk, M., Shcherbatyy, A., Gudyma, T., Chernushkin, B., Fedorovych, N. The occurrence of osteodystrophy in cows with chronic micronutrients deficiency. *Ukrainian journal of Ecology*. 2018. Vol. 8. Iss. 2. P. 24-32. Doi: 10.15421/2018\_305.
9. Федорович В.Л. Мікроелементні сполуки у профілактиці остеодистрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2011. Т. 14. № 3 (53). Ч. 1. С. 292–297.
10. Федорович В.Л., Стадник А.М. Лабораторна діагностика субклінічного та клінічного перебігу ензоотичної остеодистрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2007. Т. 9. №3 (34). Ч. 1 С. 225–231.
11. Стадник А.М., Федорович А.М. Метаболічний профіль крові за ензоотичної остеодистрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2006. Т. 8. № 2 (29). Ч. 1. С. 185–190.
12. Мікроелементози сільськогосподарських тварин / М.О. Судаков, В.І. Береза, І.Г. Погурський [та ін.] – Київ: Урожай. 1991. 144 с.
13. Внутрішні хвороби тварин / В.І. Левченко, В.В. Влізло, І.П. Кондрахін, І.М. Карпуть, Л.Г. Слівінська, Л.М. Богатко, А.Ю. Мельник, І.В. Папченко, В.В. Чумаченко, В.Ю. Чумаченко; За ред. В.І. Левченка. Біла Церква, 2015. Ч. 2. 610 с.
14. Slivinska, L., Demydjuk, S., & Shcherbatyy A.. Діагностика хвороб, пов'язаних з порушенням обміну речовин у великої рогатої худоби в ННВЦ «Комарнівський» Городоцького району Львівської області. *Науковий вісник Львівського національного університету*

ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки. 2016. Том 18. № 1. С. 220-225.

15. Долецький С. П. Теоретичне та клініко-експериментальне обґрунтування профілактики порушень мінерального обміну в корів у біогеохімічних зонах України: дис... д-ра вет. наук: 16.00.01. Нац. у-тет біоресурсів та природокористування України. Київ. 2015. 38 с.

16. Ветеринарна клінічна біохімія [текст]: підручник / В.І.Левченко, В.В. Влізло, І.П. Кондрахін та ін.; за ред. В.І. Левченка і В.Л. Галяса. Біла Церква. 2019. 400 с.

17. Петренко О.С. Гіпокальціємія і гіпофосфатемія високопродуктивних корів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. вет. наук: спец. 16.00.01 «Діагностика і терапія тварин». Білоцерківський національний аграрний університет. Біла Церква. 2011. 24 с.

18. Slivinska, L., Fedorovych, V., Gutyj, B., Lychuk, M., Shcherbatyy, A., Gudyma, T., Chernushkin, B., Fedorovych, N. The occurrence of osteodystrophy in cows with chronic micronutrients deficiency. *Ukrainian journal of Ecology*. 2018. Vol. 8. Iss. 2. P. 24-32. Doi: 10.15421/2018\_305.

19. Bodiako, O., Golovakha, V., Tyshkivskiy, M., & Shcherbatyy, A. Metabolism macroelements in foals for hypercalcitoninemia. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary Sciences. 2017. Т. 19. № 77. P. 80-85. <https://doi.org/10.15421/nvlvet7719>

20. Slivinska, L. G., & Fedorovych, V. L. Clinical status of cows osteodystrophy. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary Sciences. 2015. Т. 17. № 1. P. 170-175.

21. Shcherbatyy A., & Slivinska, L. Effect on indices premix Marmiks exchange trace elements in the pregnant mare. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary Sciences. 2015. Т. 17. №1. P. 225-230.

22. Slivinska, L.G., Shcherbatyy, A.R., Lukashchuk, B.O., Zinko, H.O., Gutyj, B.V., Lychuk, M.G., Chernushkin, B.O., Leno, M.I., Prystupa, O.I., Leskiv, K.Y., Slepokura, O.I., Sobolev, O.I., Shkromada, O.I., Kysterna, O.S., Usiienko, O.V.. Correction of indicators of erythrocytopoiesis and microelement blood levels in cows under conditions of technogenic pollution. *Ukrainian journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. Iss. 2. P.127-135.

23. Щербатий А.Р., Слівінська Л.Г. Лікувально-профілактична ефективність мінерально-вітамінного преміксу Мармікс за гіпокальтозу і гіпокупрозу кобил. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2013. Том 15, №3 (57). Частина 1. С. 378-385.

24. Слівінська Л.Г. Вміст заліза, кобальту, міді, вітаміну В12 та фолієвої кислоти у крові корів, хворих на хронічну гематурію. *Вісник Білоцерківського державного аграрного університету*: Зб. наук. праць. 2008. Вип. 51. С. 85–90.

25. Slivinska, L.G., Shcherbatyy, A.R., Lukashchuk, B.O., Zinko, H.O., Gutyj, B.V., Lychuk, M.G., Chernushkin, B.O., Leno, M.I., Prystupa, O.I., Leskiv, K.Y., Slepokura, O.I., Sobolev, O.I., Shkromada, O.I., Kysterna, O.S.,

Usienko, O.V. Correction of indicators of erythrocytogenesis and microelement blood levels in cows under conditions of technogenic pollution. *Ukrainian journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. Iss. 2. P.127-135.

26. Shcherbatyy, A.R., Slivinska, L.G., Gutyj, B.V., Fedorovych, V.L., Lukashchuk, B.O. Influence of Marmix premix on the state of lipid peroxidation and indices of non-specific resistance of the organism of pregnant mares with microelementosis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2019. Vol. 10. Iss. 1. P.87-91. Doi: 10.15421/021914.

27. Федорович В.Л. Мікроелементні сполуки у профілактиці остеодистрофії корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2011. Т. 14. № 3 (53). Ч. 1. С. 292–297.

28. Rondanelli M., Faliva M.A., Infantino V., Gasparri C., Iannello G., Perna S., Riva A., Petrangolini G., Tartara A., Peroni G. Copper as Dietary Supplement for Bone Metabolism: A Review. *Nutrients*. 2021. №13(7). P. 2246. doi: 10.3390/nu13072246

29. Slivinska L.G, Shcherbatyy A.R., Lukashchuk B.O. Hypocobaltosis and hypocuprosis in pregnant mares in the western biogeochemical zone of Ukraine (distribution, diagnosis). *Ukrainian journal of veterinary and agricultural sciences*. 2018. Vol 1 (2). P. 11-14. doi: 10.32718/ujvas1-2.03

30. Rondanelli M., Faliva M.A., Peroni G., Infantino V., Gasparri C., Iannello G., Perna S., Riva A., Petrangolini P., Tartara A. Essentiality of Manganese for Bone Health: An Overview and Update. *Natural Product Communications*. 2021. № 16(5). doi:10.1177/1934578X211016649

31. Beattie J.H., Avenel A. Trace element and bone metabolism. *Nutrition Research Reviews*. 1992. №5. P.167–188.

32. Underwood E.J., Suttle N. F. The Mineral Nutrition of Livestock. CABI Publishing. 2021. 614 p.

33. Beattie J.H., Avenel A. Trace element and bone metabolism. *Nutrition Research Reviews*. 1992. №5. P.167–188.

34. Судаков М.О., Береза В.І., Погурський І.Г. Мікроелементози сільськогосподарських тварин. Київ: Урожай. 1992.

35. Маслак Ю.В., Собакар А.В. Етіопатогенез остеодистрофії у кіз зааненської породи. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2015. №1-2. С.119-123.

36. Федорович В.Л. Профілактика остеодистрофії корів в умовах біогеохімічної зони регіону / В.Л. Федорович // *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2011. Том. 13. № 4 (50). Ч. 1. С. 472–476.

37. Тишківська Н.В. Інформативність показників вуглеводно-білкових сполук під час діагностики порушень D-вітамінного і фосфорно-кальцієвого обміну у бичків на відгодівлі. *Вісник Білоцерківського державного аграрного університету*. 2008. № 51. С. 94–98.

38. B.O. Chernushkin, V.V. Vlizlo, L.G. Slivinska, B.V. Gutyj, A.R. Shcherbatyy, I.A. Maksymovych, M.I. Leno, V.I. Rusyn, M.H. Lychuk, V.L. Fedorovych, B.O. Lukashchuk, H.O. Zinko, O.I. Prystupa. Treatment

strategies for sheep with acute yellow atrophy of the liver caused by the fasciolosis. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. №10(2). P.294-301. doi: 10.15421/2020\_100.

39. Шарандак П.В., Левченко В.І. Гепатоостеодистрофічний синдром у вівцематок Сходу України. *Вісник аграрної науки*. 2017. №9. С. 35-39.

40. Стадник А.М., Федорович В.Л. Вітаміни А, D, E і остеокальцин у крові корів за ензоотичної остеодистрофії та в процесі комплексної терапії. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2008. Том. 10. №3 (38). Ч. 1. С. 234–239.

41. Щербатий А.Р. Вміст вітамінів А і Е у крові жеребних кобил. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2010. Том 12. № 2 (44). Ч. 1. С. 350-354.

#### **Information about the authors:**

**Slivinska Lyubov Grygorivna,**

Doctor of Veterinary Sciences, Professor,  
Head of the department of animal internal diseases and clinical diagnostics  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Fedorovych Vitalii Leonidovych,**

Candidate of Veterinary Sciences,  
Associate Professor at the Department of Animal Internal Diseases  
and Clinical Diagnostics  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Shcherbatyi Andrii Romanovych,**

Candidate of Veterinary Sciences,  
Associate Professor at the Department of Animal Internal Diseases and  
Clinical Diagnostics  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

## МОРФОМЕТРИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СЛИЗОВОЇ ОБОЛОНКИ КИШЕЧНИКУ КУРЕЙ

Тибінка А. М.

### ВСТУП

Шлунково-кишковий тракт птахів на відміну від ссавців характеризується наявністю двох сліпих кишок та клоаки, а також відсутністю (у більшості видів) ободової кишки. Ворсинки розвинені не лише у тонкій кишці (як у ссавців), але і у товстій. У стінці кишки відсутні брунерові залози та наявний дивертикул Меккеля<sup>1</sup>.

У курей органи травлення розвиваються з клітин первинної кишки. Протягом останніх днів інкубації<sup>2</sup> відносна маса кишечника зростає приблизно з 1% на 17 день ембріонального розвитку до 3,5% на момент вилуплення. При цьому, ворсинки перебувають на двох основних стадіях формування, відрізняючись за довжиною та формою. Більші ворсинки часто мають грушоподібну форму, а менші – циліндричну. Починаючи з 19 доби інкубації у ворсинках зростає активність мальтази, амінопептидази, транспортера натрій-глюкози (SGLT)-1 і АТФ-ази. Ще більше ця активність зростає в день вилуплення.

Протягом перших дванадцяти тижнів життя курчат загальна площа слизової оболонки збільшується в 12-13 разів у дванадцятипалій та клубовій кишках та в 20 разів у порожній кишці. Коефіцієнт ампліфікації мікрроворсинок зменшується у всіх трьох кишках протягом першого тижня життя, проте потім зростає у 1,5 рази в дванадцятипалій і порожній кишках та в 1,2 рази у клубовій кишці<sup>3</sup>.

Невід'ємною частиною онтогенезу стінки кишки є формування її лімфоїдних структур<sup>4</sup> та м'язової оболонки<sup>5</sup>.

Становлення морфологічної структури кишкової стінки в процесі росту і розвитку курей з одного боку відображає генетичний потенціал апарату травлення, а з іншого – визначає господарсько-корисні

---

<sup>1</sup> Dibner J. J., Richards J. D. The digestive system: challenges and opportunities. *The Journal of Applied Poultry Research*. 2004. Vol. 13. No 1. P. 86–93. doi: 10.1093/japr/13.1.86

<sup>2</sup> Uni Z., Tako E., Gal-Garber O., Sklan D. Morphological, molecular, and functional changes in the chicken small intestine of the late-term embryo. *Poultry Science*. 2003. Vol. 82. P. 1747–1754. doi: 10.1093/ps/82.11.1747

<sup>3</sup> Mitjans, M., Barniol, G., Ferrer, R. Mucosal surface area in chicken small intestine during development. *Cell and Tissue Research*. 1997. No 290. P. 71–78. doi: 10.1007/s004410050909

<sup>4</sup> Jeurissen S.H.M., Janse E. M., Koch G., De Boer G. F. Postnatal development of mucosa-associated lymphoid tissues in chickens. *Cell and Tissue Research*. 1989. No. 258(1). P. 119–124. doi: 10.1007/BF00223151

<sup>5</sup> Gabella G. Structure of the musculature of the chicken small intestine. *Anatomia, Histologia, Embryologia*. 1985. No 171. 139–149. doi: 10.1007/BF00341408

характеристики птахів, які ґрунтуються на її здатності перетравлювати та всмоктувати поживні речовини корму. На структурні перетворення в різних кишках значний вплив здійснює і нейрогуморальний статус організму, зокрема формування певного типу автономної регуляції. Під час проведення власних досліджень, охарактеризовано зв'язок між типологічними особливостями автономної регуляції в організмі курей-несучок кросу «Іза-Браун» та морфологією слизової оболонки їх кишечника<sup>67</sup>. За результатами варіаційної пульсометрії<sup>8</sup> дослідних птахів розділили на дві групи: кури-симпатотоніки – птахи з чітко домінуючим тонусом симпатичних центрів та кури-симпатонормотоніки – птахи, з незначним домінуванням симпатичного тону, зі схильністю до нормотонії.

### 1. Кількість ворсинок слизової оболонки кишечника

Ворсинки слизової оболонки різних відділів кишечника курей характеризуються певними морфологічними відмінностями. Для дванадцятипалої кишки 22-тижневих білих курей Леггорн характерні переважно плоскі та широкі ворсинки, з невеликою кількістю крипт між ними. Співвідношення ворсинок та крипт складає приблизно 10:1. Порожня кишка містить листоподібні ворсинки, співвідношення яких до крипт є значно меншим – лише 1,5:1. У клубовій кишці ворсинки також мають листоподібну форму, проте, є вужчими. Співвідношення між ними та криптами зростає до 3,5:1<sup>9</sup>.

Особливістю структури відрізняються сліпі кишки птахів<sup>10,11,12</sup>. У ділянці верхівки і тіла сліпої кишки та в прямій кишці курей слизова оболонка утворює поздовжні складки. А на верхівці сліпої кишки також

---

<sup>6</sup> Тибінка А. М. Зв'язок морфологічних особливостей слизової оболонки кишечника з типами автономного тону курей. *Біоресурси і природокоористування*. Київ, 2015. № 3-4. С. 72–75.

<sup>7</sup> Tybinka A., Blishch H., Shchepentovska O. Influence of the type of autonomic tone on the volume of the mucous membrane of the small intestine of laying hens. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018. № 9(3). P. 453–459. doi:10.15421/021868

<sup>8</sup> Тибінка А. М. Показники варіаційної пульсометрії курей різних типів автономного тону. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Серія «Біологічні науки»*. Львів, 2012. № 2(52). Ч. 1. С. 337–340.

<sup>9</sup> Esmail S. H. M. Scanning electron microscopy of intestinal villous structures and their putative relation to digestion and absorption in chickens. *Reproduction Nutrition Development*. 1988. Vol. 28. No 6A. P. 1479–1487. doi: 10.1051/rnd:19880905

<sup>10</sup> Fenna L., Boag D. A. Adaptive significance of the caeca in Japanese quail and spruce grouse (*Galliformes*). *Canadian Journal of Zoology*. 1974. Vol. 52. P. 1577–1584. doi: 10.1139/z74-203

<sup>11</sup> Fenna L., Boag D. A. Filling and emptying of the galliform caecum. *Canadian Journal of Zoology*. 1974. Vol. 52. P. 537–540. doi: 10.1139/z74-067

<sup>12</sup> Ferrer R., Planas J. M., Dufort M., Moreto M. Morphological study of the caecal epithelium of the chicken (*Gallus gallus domesticus* L.). *British Poultry Science*. 1991. Vol. 32. P. 679–691. doi: 10.1080/00071669108417394

формуються циркулярні складки. Основа сліпої кишки курей позбавлена складок слизової оболонки. Ворсинки слизової оболонки в ділянці основи сліпої кишки мають листоподібну та язикоподібну форму і є найвищими. У напрямку до верхівки кишки їх висота знижується. Коловий шар м'язової оболонки сліпої кишки за товщиною переважає поздовжній шар у 3,4 рази (на верхівці) та у 1,63 рази (в ділянці тіла), а в прямій кишці – у 2,31 рази. Певною динамікою вздовж сліпих кишок характеризується і структура епітеліального покриву<sup>13</sup>.

Кількість, розміри та структура ворсинок курей значною мірою залежать від типу корму<sup>14</sup>. Додавання синбіотика збільшує висоту ворсинок та співвідношення висоти ворсинок/глибини крипт, покращуючи всмоктування поживних речовин<sup>15</sup>. Дієтичні добавки прополісу і бджолиного пилку також обумовлюють збільшення висоти і ширини ворсинок дванадцятипалої кишки курчат та поглиблення її крипт. Зростає відношення висоти ворсинок до глибини крипт, а також площа поглинальної поверхні слизової оболонки<sup>16</sup>. Достовірний вплив на структуру слизової оболонки має і форма корму, який споживають птахи (пуре, крихти чи пелети)<sup>17</sup>.

Значні зміни у структурі кишкової стінки обумовлює дія стресового фактору. Так, гострий тепловий стрес призводить до зменшення проліферації ентероцитів, а також до зменшення глибини крипт, не впливаючи на висоту ворсинок. Поряд з тим, хронічний стрес призводить до зменшення висоти ворсинок та маси тонкої кишки. Така зміна структури погіршує показники травлення та знижує продуктивні якості курей<sup>18</sup>.

Становлення морфології слизової оболонки різних відділів кишечнику птахів у процесі онтогенетичного розвитку характеризується

---

<sup>13</sup> Takeuchi T., Kitagawa H., Imagawa T., Uehara M. Proliferation and cellular kinetics of villous epithelial cells and M cells in the chicken caecum. *Journal of Anatomy*. 1998. Vol. 193. P. 233–239. doi: 10.1046/j.1469-7580.1998.19320233.x

<sup>14</sup> Yamauchi K. Review on Chicken intestinal villus histological alterations related with intestinal function. *Journal of Poultry Science*. 2002. Vol. 39. No 4. P. 229–242. doi: 10.2141/jpsa.39.229

<sup>15</sup> Awad W, Ghareeb K, Böhm J. Intestinal structure and function of broiler chickens on diets supplemented with a synbiotic containing *Enterococcus faecium* and oligosaccharides. *International Journal of Molecular Sciences*. 2008. No 9(11). P. 2205–2216. doi: 10.3390/ijms9112205

<sup>16</sup> Prakatur I., Miskulin M., Pavic M., Marjanovic K., Blazicevic V., Miskulin I. Domacinovic M. Intestinal morphology in broiler chickens supplemented with propolis and bee pollen. *Animals*. 2019. No 9. P. 1–12. doi: 10.3390/ani9060301

<sup>17</sup> Ariyadi B., Sudaryati S., Harimurti S., Wihandoyo, Sasongko H., Habibi M. F., Rahayu D. Effects of feed form on small intestine histomorphology of broilers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 387. P. 1–4. doi 10.1088/1755-1315/387/1/012047

<sup>18</sup> Marchini Cristiane F. P., Cafe Marcos B., Araujo Eugênio G., Nascimento Mara R. B. M. Physiology, cell dynamics of small intestinal mucosa, and performance of broiler chickens under heat stress: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2016. Vol. 29. No 3. P. 159–168. Doi: 10.17533/udea.rccp.v29n3a01



рядом послідовних стадій Площа поверхні окремих ворсинок постійно збільшується в дванадцятипалій кишці протягом дванадцяти днів після вилуплення. Проте, у порожній та клубовій кишках площа поверхні окремих ворсинок збільшується до четвертого дня. Кількість ворсинок на одиниці площі кишки збільшується в дванадцятипалій та порожній кишці, але не в клубовій кишці. Загальна площа поверхні ворсинок збільшується однаково в усіх кишках протягом трьох днів після вилуплення. Після цього, у порожній кишці даний процес проходить інтенсивніше ніж в дванадцятипалій та клубовій кишках<sup>19</sup>.

Результати власних досліджень<sup>20</sup> вказують на те, що індивідуально специфічне поєднання тонузу автономних центрів характеризується достовірним впливом на кількісні характеристики ворсинок слизової оболонки як тонкої, так і товстої кишок курей (табл. 1).

Таблиця 1

**Кількість ворсинок в окремих кишках курей, штук/см<sup>2</sup> (M±m)**

Назва кишки	Кури-СТ	Кури-СТ-НТ
Дванадцятипала	415,4±3,05	476,9±2,92**
Порожня	641,4±3,23	720,2±3,10***
Клубова	851,8±3,25	920,3±3,04**
Сліпі (середній показник ділянки основи)	381,4±3,17	425,3±3,04*
Пряма	896,8±3,19	834,5±3,29**

Примітка: \* – P<0,05; \*\* – P<0,01; \*\*\* – P<0,001.

При цьому, у курей з підвищеним тонусом парасимпатичних центрів порівняно з птахами із чітко вираженою симпатотонією спостерігається більша кількість ворсинок у всіх ділянках тонкої кишки. Так, на площі 1 см<sup>2</sup> дванадцятипалої кишки кури-СТ поступаються курам-СТ-НТ на 61,5 ворсинок (P<0,01).

Перехід до порожньої кишки характеризується посиленням домінуючого статусу курей-СТ-НТ, перевага яких над птахами-СТ збільшується до 78,8 ворсинок (P<0,001). Проте, у клубовій кишці різниця між типами автономної регуляції дещо знижується і птахи першої групи вже поступаються курам другої групи на 68,5 ворсинок (P<0,01).

<sup>19</sup> Geyra A., Uni Z., Sklan D. Enterocyte dynamics and mucosal development in the posthatch chick. *Poultry Science*. 2001. No 80(6). P. 776–782. doi: 10.1093/ps/80.6.776

<sup>20</sup> Тибінка А. М. Сумарна кількість кишкових ворсинок у курей з різним типом автономного тонузу. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Серія «Біологічні науки»*. Львів, 2011. № 4(50). Ч. 2. С. 230–233.

У товстій кишці залежність кількості ворсинок від типу автономної регуляції не є такою однозначною. У ділянці основи сліпих кишок продовжує спостерігатися більша кількість ворсинок у курей із симпатонормотонічним типом автономної регуляції і їх перевага над курами з симпатотонічним типом автономних впливів становить 43,9 ворсинок ( $P < 0,05$ ). Проте, у прямій кишці виявлено протилежну залежність, за якою кури-СТ вже переважають СТ-НТ на 62,3 ворсинок ( $P < 0,01$ ).

Отже, за даним показником, типологія автономних впливів найбільш виразно проявляється у порожній кишці, а найменше – у сліпих кишках.

Вирахувавши середні значення кількості ворсинок для всієї тонкої кишки, встановили, що різниця між курами-симпатотоніками (636,2±20,91 ворсинок) та симпато-нормотоніками (705,8±21,14 ворсинок) становить 69,6 ворсинок ( $P < 0,05$ ) з домінуванням у птахів другої групи.

У середніх значеннях кількості ворсинок товстої кишки перевага належить курам із симпатотонічним типом автономного балансу (639,1±36,88 ворсинок), хоча різниця з птахами, що мають підвищений тонус парасимпатичних центрів (629,9±29,31 ворсинок) є досить незначною – лише 9,2 ворсинок.

Проте, у середніх показниках цілого кишечнику вищі значення досліджуваного показника все ж таки спостерігаються у курей-симпатонормотоніків (667,9±17,52 ворсинок). Кількість їх ворсинок є на 30,2 більшою порівняно з симпатотоніками (637,7±19,27 ворсинок).

Представлені дані дозволяють зрозуміти, що залежність кількісних показників ворсинок від типології автономних впливів є вищою у тих кишках, які характеризуються більшою інтенсивністю процесів травлення. А це вказує на безпосередній зв'язок між регуляторним впливом відповідного типу інтегруючого тонуусу автономних центрів та функціональною активністю кишкової стінки.

Також на увагу заслуговує динаміка кількості ворсинок слизової оболонки в окремих ділянках кишки.

Проведеними розрахунками встановлено, що у тонкій кишці при обох типах автономної регуляції найменша кількість ворсинок відмічається у дванадцятипалій кишці. При переході у порожню кишку, їх кількість суттєво зростає. Причому, кури-симпато-нормотоніки (на 243,3 ворсинок) характеризуються більшою вираженістю цього процесу порівняно з птахами симпатотонічного типу автономних впливів (на 226,0 ворсинок).

Наближення до кінця тонкої кишки, тобто у клубову кишку, супроводжується подальшим зростанням кількості ворсинок. Проте інтенсивність цієї динаміки, порівняно з попередньою кишкою, дещо зменшується. Так у курей з різко вираженим симпатичним тонуусом

досліджуваний показник зростає на 210,4 ворсинок, а в птахів з підвищеним тонусом блукаючого нерву – на 200,1 ворсинок. Тобто перевага вже знаходиться на боці курей першої групи. Причому, дана кількість ворсинок для птахів другої групи взагалі є найвищим показником, як для тонкої кишки, так і для всього кишечника.

Зміна тонкої кишки на товсту є переломним етапом для динаміки кількості ворсинок слизової оболонки, оскільки тут – у основі сліпих кишок відмічається стрибкоподібне (більше ніж на половину) зменшення їх кількості. І знову у курей-симпато-нормотоніків (на 495,0 ворсинок) цей процес проходить більш інтенсивно ніж у птахів симпатотонічного типу автономної регуляції (на 470,4 ворсинок). Кількість ворсинок в сліпих кишках при обох типах автономної регуляції є найменшим показником, як для товстої кишки, так і для цілого кишечника.

Перехід у пряму кишку супроводжується таким же стрибкоподібним (приблизно на половину) зростанням кількості ворсинок слизової оболонки. При цьому, тут також відмічаються і найбільші відмінності між типами автономної регуляції. Так, кількість ворсинок у курей-симпатотоніків збільшується на 515,4 ворсинок, а у симпато-нормотоніків – лише на 409,2 ворсинок, тобто різниця між групами становить 106,2 ворсинок, а перевага знову переходить на бік птахів першої групи, у якої кількість ворсинок у цій кишці є найбільшою не лише у товстій кишці, а й у всьому кишечнику.

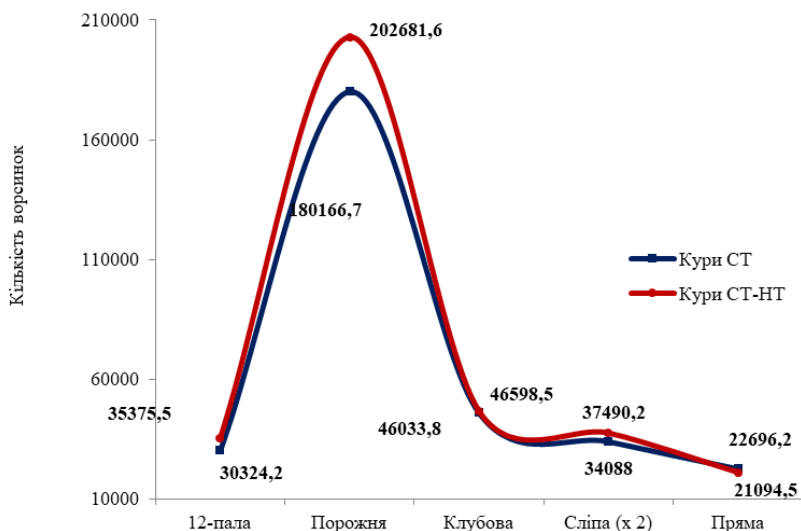
Отже, з представлених даних, бачимо, що динаміка досліджуваного показника, у процесі переходу від однієї кишки до іншої, при обох типах автономної регуляції є подібною, проте характеризується різним числовим втіленням та інтенсивністю прояву. Це може вказувати на формування певних особливостей процесу травлення в різних кишках при різному інтегруючому тонусі автономних центрів.

З метою повнішої характеристики всмоктувальної поверхні кишкової стінки, розраховано похідний показник, який відображає загальну кількість ворсинок в окремих кишках, їх відділах та цілому кишечнику (рис. 1).

З представленого графіка видно, що сформований в процесі індивідуального розвитку певний тип інтегруючого тону автономних центрів по різному впливає на загальну кількість ворсинок в окремих кишках.

На початку кишкової стінки – у дванадцятипалій кишці перевага за даним показником знаходиться на боці курей з підвищеним тонусом блукаючого нерву (35375,5 ворсинок). На 5051,3 ворсинок виявлено менше у птахів, які перебувають під домінуючим впливом симпатичних центрів (30324,2 ворсинок). У порожній кишці домінування курей-СТ-

НТ не лише зберігається, а й суттєво укріплюється, оскільки різниця між групами птахів різко зростає. Це, на фоні достовірно високих відмінностей за іншими показниками, вказує на особливу чутливість структурних компонентів цієї кишки до типологічних особливостей автономної регуляції функцій. При цьому, у порожній кишці кури-СТ (180166,7 ворсинок) поступають курам-СТ-НТ (202681,6 ворсинок) на 22514,9 ворсинок. Зазначимо, що це є найбільшою різницею між групами птахів у цілому кишечнику. Клубова кишка, на протипагу порожній, характеризується мінімальними відмінностями у кількості ворсинок слизової оболонки. Тут перевага курей з нормотонічним ухилом (46598,5 ворсинок) також зберігається, проте її вираженість, порівняно з птахами симпатотонічного типу (46033,8 ворсинок) є незначною – 564,7 ворсинок.



**Рис. 1. Сумарна кількість ворсинок слизової оболонки в окремих кишках курей**

На початку товстої кишки (у основі сліпих кишок) продовжується домінування курей-симпато-нормотоніків (37490,2 ворсинок) над симпатотоніками (34088,0 ворсинок), причому, різниця між ними за досліджуваним показником знову збільшується до 3402,2 ворсинок. Порівнюючи обидві сліпі кишки з клубовою, варто зазначити, що сумарна довжина перших є в двічі більшою ніж в другій, проте кількість

ворсинок виявилася більшою в клубовій кишці, що вказує на різну направленість травних процесів у цих ділянках. Пряма кишка, як кінцева ділянка кишечнику, руйнує, попередньо сформовану закономірність. Тут, хоча відмінності між групами птахів не є надто високими, проте вищі значення кількості ворсинок слизової оболонки вже належать курам із симпатотонічним типом автономного балансу (22696,2 ворсинок). Вони переважають курей з підвищеним тонусом парасимпатичних центрів (21094,5 ворсинок) на 1601,7 ворсинок.

Проте, якщо узагальнити сумарну кількість ворсинок окремо по кожному відділу кишки та цілому кишечнику, то всюди перевага, все ж таки, буде на боці курей-симпато-нормотоніків. Так, у тонкій кишці (284655,6 ворсинок) перевага даної групи птахів над курми-симпатотоніками (256524,7 ворсинок) є досить вираженою і становить 28130,9 ворсинок. У товстій кишці різниця між групами птахів є невеликою і кури-симпатотоніки (56784,2 ворсинок) поступаються курам-симпато-нормотонікам (58584,7 ворсинок) на 1800,5 ворсинок.

Відповідно, показники цілого кишечнику у курей із симпатотонічним типом автономного тону (313308,9 ворсинок) відрізняються від показників у птахів із симпато-нормотонічним типом автономних реакцій (343240,3 ворсинок) на 29931,4 ворсинок.

## 2. Висота ворсинок слизової оболонки кишечнику

Характеризуючи висоту ворсинок на основі результатів власних досліджень (табл. 2), бачимо, що у різних відділах кишкової стінки спостерігається протилежна залежність величини цього показника від типології автономної регуляції і відмінності між групами птахів є статистично достовірними.

Таблиця 2

**Висота ворсинок слизової оболонки окремих кишок курей,  
мкм (M±m)**

Назва кишки	Кури-СТ	Кури-СТ-НТ
Дванадцятипала	1266,0±5,24	1424,7±5,81*
Порожня	852,2±6,48	1040,5±5,68*
Клубова	660,3±4,43	796,7±4,62***
Сліпі (середній показник ділянки основи)	630,5±5,76*	488,0±4,91
Пряма	568,9±5,42***	434,5±2,77

Примітка: \* – P<0,05; \*\* – P<0,01; \*\*\* – P<0,001.

Так, у тонкій кишці перевага знаходиться у курей симпато-нормотонічного типу автономної регуляції, а у товстій кишці вона

переходить до курей симпатотонічного типу автономного тону. При цьому, в дванадцятипалій кишці висота ворсинок у курей-симпатонормотоніків є на 158,7 мкм ( $P < 0,05$ ) більшою ніж у курей-симпатотоніків. У порожній кишці перевага курей схильних до нормотонії над птахами зі стійкою симпатотонією зростає ще більше – до 188,3 мкм ( $P < 0,05$ ). Перехід у клубову кишку з одного боку супроводжується певним зменшенням різниці між курами симпатотонічного та симпато-нормотонічного типів автономної регуляції – до 136,4 мкм, а з іншого боку ця різниця стає максимальною достовірною у тонкій кишці курей ( $P < 0,001$ ).

При зміні тонкої кишки на товсту, більші значення висоти ворсинок вже належать курам зі стабільно високим тонутом симпатичних центрів, які у сліпих кишках переважають курей з підвищеним парасимпатичним тонутом на 142,5 мкм ( $P < 0,05$ ). У прямій кишці різниця між типами автономного балансу дещо зменшується – до 134,4 мкм, проте, як і в кінці тонкої кишки стає найбільш достовірною ( $P < 0,001$ ). При цьому, перевага курей-симпатотоніків над симпато-нормотоніками зберігається.

Якщо ж усереднити висоту ворсинок окремо по кожному відділу кишечника, то виявимо, що найбільші відмінності між дослідними групами птахів спостерігаються у тонкій кишці. Тут кури з вираженою симпатотонією ( $926,2 \pm 10,79$  мкм) поступаються птахам, схильним до нормотонії ( $1087,3 \pm 11,01$  мкм) на 161,1 мкм ( $P < 0,001$ ).

У товстій кишці навпаки кури із симпатотонічним типом автономного тону (599,7 $\pm$ 4,24 мкм) переважають птахів з симпато-нормотонічним типом (461,2 $\pm$ 3,12 мкм) – на 138,4 мкм ( $P < 0,001$ ). Тому, на рівні всього кишечника у показниках середньої висоти ворсинок проходить компенсація між тонкою кишкою, де переважають кури-СТ-НТ і товстою кишкою, де домінують кури-СТ. На основі цього різниця між групами птахів стає мінімальною – 11,3 мкм, з незначною перевагою курей-СТ-НТ ( $774,3 \pm 11,80$  мкм) над СТ ( $763,0 \pm 8,39$  мкм)

З представленого матеріалу бачимо, що кожен тип автономної регуляції функцій, формуючи достовірні відмінності висоти ворсинок в окремих кишках, на рівні всього кишечника підтримує приблизно однаковий баланс цього показника. Це вказує на розвиток компенсаторних процесів, що проходять у кишкових ворсинках у відповідь на формування певного інтегруючого тонутом автономних центрів в організмі птахів. Це знаходить своє відображення у особливостях процесів морфогенезу в окремих кишках та їх відділах, проте на рівні всього кишечника може підтримуватися відносна стабільність показників.

Якщо поєднати показники кількості та висоти ворсинок, то побачимо, що у тонкій кишці курам із симпатотонічним типом автономної регуляції відповідають менші значення обох показників, а курам із симпато-нормотонічним типом автономних впливів – відповідно їх більші величини. На початку товстої кишки (у сліпих кишках) спостерігається формування компенсаторних процесів, коли у курей-СТ менша кількість ворсинок поєднується з більшою їх висотою. Відповідно у курей СТ-НТ вищим значенням першого показника відповідають менші величини другого. І лише в прямій кишці курей зі стійким симпатичним тонусом більша кількість ворсинок поєднується з їх більшою висотою. У курей схильних до нормотонії обидва показники відповідно мають менші величини.

Викладене вище, доводить, що при підвищенні парасимпатичного тонусу відбувається збільшення площі всмоктування у тонкій кишці, що повинно забезпечити їй більш повне перетравлення та всмоктування поживних речовин корму. Стійка симпатотонія незначно компенсує цю закономірність в кінці товстої кишки. Проте, представлені дані дозволяють охарактеризувати лише морфологічну компенсацію. На її функціональному аспекті наголошувати не має змоги через особливості функціонування тонкої та товстої кишок, що потребує подальших досліджень. Відповідно, на рівні цілого кишечника курам з підвищеним парасимпатичним тонусом відповідають вищі величини обох показників.

### 3. Глибина крипт слизової оболонки кишечника

Цілісність та нормальна функція епітелію тонкої кишки критично залежать від постійного оновлення епітеліальних клітин, яке забезпечується базальними клітинами, розташованими в кишкових криптах<sup>21</sup>.

У криптах дванадцятипалої кишки птахів виділяють три зони розвитку та дозрівання епітеліальних клітин: 1 – основа крипти, яка характеризується частими мітозами та мінімальним розвитком клітин; 2 – середня ділянка крипт, яка характеризується швидким ростом та розвитком клітин; 3 – верхня ділянка крипт або зона диференціації, яка характеризується, остаточним розвитком та функціональним дозріванням клітин<sup>22</sup>.

На відміну від ссавців, проліферація ентероцитів у курей локалізована не лише в ділянці крипт, а поширюється і на ворсинки. При цьому, в напрямку до верхівки останніх активність проліферації

---

<sup>21</sup> Li J., Li J. Jr., Zhang S. Y., Li R. X., Lin X., Mi Y. L., Zhang C. Q. Culture and characterization of chicken small intestinal crypts. *Poultry Science*. 2018. Vol. 97, No 5. P. 1536–1543. doi: 10.3382/ps/pey010

<sup>22</sup> Hodges R. D., Michael E. Structure and histochemistry of the normal intestine of the fowl. *Cell and Tissue Research*. 1975. No 160. P. 125–138. doi: org/10.1007/BF00219846

знижується. Активність лужної фосфатази є відносно постійною по всій довжині епітелію ворсинки та знижується в ділянці крипт. Поряд з тим, активність сахарази та мальтази є вищою у верхній половині ворсинки і також знижується в основі ворсинок та криптах<sup>23,24</sup>.

У епітеліальному шарі основи крипт розташовані високоспеціалізовані клітини Панета, наповнені великою кількістю секреторних гранул, що містять бактерицидні речовини, у тому числі білок лізоцим<sup>25</sup>.

Результати власних досліджень<sup>26</sup>, вказують на те, що в глибині крипт, порівняно з висотою ворсинок, спостерігається суттєва відмінність залежності їх показників від типології автономних реакцій (табл. 3).

Таблиця 3

**Глибина крипт слизової оболонки окремих кишок курей,  
мкм (M±m).**

Назва кишки	Кури-СТ	Кури-СТ-НТ
Дванадцятипала	298,1±2,84*	264,2±2,61
Порожня	214,9±2,65***	172,5±2,12
Клубова	199,8±2,20***	159,0±1,85
Сліпі (середній показник ділянки основи)	180,3±3,04***	135,5±1,80
Пряма	144,2±1,63	133,2±3,27

Примітка: \* – P<0,05; \*\* – P<0,01; \*\*\* – P<0,001.

По всій довжині кишечника більші значення належать курам зі стабільно високим тонусом симпатичного відділу автономної нервової системи, а менші – птахам з підвищеним тонусом парасимпатичного відділу. У окремих ділянках кишки змінюється лише величина різниці між групами птахів. Так, у дванадцятипалій кишці перевага курей-СТ над СТ-НТ становить 33,9 мкм, а її достовірність є мінімальною – P<0,05. Проте, у трьох наступних кишках різниця між типами автономної регуляції за даним показником набуває максимальної достовірності.

<sup>23</sup> Uni Z., Platin R., Sklan D. Cell proliferation in chicken intestinal epithelium occurs both in the crypt and along the villus. *Journal of Comparative Physiology B*. 1998. No 168(4). P. 241–247. doi: 10.1007/s003600050142.

<sup>24</sup> Zhang H., Li D., Liu L., Xu L., Zhu M., He X., Liu Y. Cellular composition and differentiation signaling in chicken small intestinal epithelium. *Animals (Basel)*. 2019. No 9(11). P 870. doi: 10.3390/ani9110870

<sup>25</sup> Wang L., Li J., Li J. Jr., Li R. X., Lv C. F., Li S., Mi Y. L., Zhang C. Q. Identification of the Paneth cells in chicken small intestine. *Poultry Science*. 2016. Vol. 95. No 7. P. 1631–1635. doi: 10.3382/ps/pew079

<sup>26</sup> Тибінка А. М., Кононенко В. С. Залежність відносних показників стінки кишечника курей від автономного профілю їх організму. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.С. Гжицького*. Львів, 2009. № 2(41). Ч. 1. С. 322–325.



У порожній кишці перевага першої групи птахів над другою зростає до 42,4 мкм ( $P < 0,001$ ). Клубова кишка характеризується незначним зниженням переваги курей симпатотонічного типу автономної регуляції над птахами симпато-нормотонічного типу автономних реакцій до 40,8 мкм ( $P < 0,001$ ). Проте на початку товстої кишки (у основі сліпих кишок), кури-СТ знову збільшують своє домінування над СТ-НТ до 44,8 мкм ( $P < 0,001$ ). Найменшою і статистично не достовірною перевага однієї групи птахів над другою є в прямій кишці – 11 мкм.

Узагальнивши середні значення по окремих відділах та цілому кишечнику виявили, що в тонкій кишці кури-СТ мають середню глибину крипт  $237,6 \pm 2,31$  мкм. Це є на 39,0 мкм ( $P < 0,001$ ) більше порівняно з курами, у яких тонус автономних центрів зміщується в напрямку нормотонії ( $198,5 \pm 2,30$  мкм). У товстій кишці, разом із зменшенням середньої глибини крипт, проходить і пропорційне зниження різниці між дослідними групами. При цьому, кури-СТ ( $162,3 \pm 1,95$  мкм) переважають курей-СТ-НТ ( $134,3 \pm 1,87$  мкм) на 27,9 мкм ( $P < 0,001$ ). Показники цілого кишечнику, відповідно, займають проміжне місце між значеннями обох його відділів. Симпатотонічний тип автономного тонузу характеризується глибиною крипт в розмірі  $200,0 \pm 1,97$  мкм, а симпато-нормотонічному типу відповідає значення –  $166,5 \pm 1,86$  мкм. Тобто, різниця між групами птахів становить 33,5 мкм ( $P < 0,001$ ).

Також інформаційним, з погляду розкриття зв'язку між морфологією слизової оболонки кишкової стінки та інтегруючим тонусом автономних центрів, є дослідження динаміки глибини крипт при зміні однієї кишки на іншу. За цією динамікою глибина крипт є схожою з висотою ворсинок. Подібність полягає у тому, що вздовж всього кишечнику проходить лише зменшення величини обох показників.

Як і у висоті ворсинок, найбільш інтенсивно глибина крипт зменшується при переході від дванадцятипалої до порожньої кишки. У курей з нормотонічним нахилом автономного тонузу вказане зменшення становить 91,7 мкм, а в птахів з симпатотонічним характером автономного балансу – 83,2 мкм. У клубовій кишці вкорочення глибини крипт проходить незначно і приблизно однаково в обох групах птахів: 15,1 мкм – у курей-СТ та 13,5 мкм – у курей-СТ-НТ.

Зміна тонкої кишки на товсту, тобто клубової кишки на сліпі відбувається з більш вираженим впливом на глибину крипт слизової оболонки, порівняно з попередньою ділянкою. При цьому, досліджуваний показник в курей з симпато-нормотонічним типом автономної регуляції зменшується на 23,5 мкм, а в курей, які перебувають під впливом симпатотонії – на 19,5 мкм.

Особливий вплив на значення досліджуваного показника має кінцева ділянка товстої кишки, тобто перехід у пряму кишку. Тут, з одного боку

проходить різке зменшення глибини крипт у курей-симпатотоніків (на 36,1 мкм). А з іншого боку у курей-симпато-нормотоніків вказане зменшення є мізерним – лише 2,3 мкм, що є найменшим показником для всіх ділянок кишечника. Представлені дані вказують на те, що в напрямку від дванадцятипалої до прямої кишок глибина крипт зменшується приблизно на половину, а саме: на 153,9 мкм у курей симпатотонічного типу автономної регуляції та на 131,0 мкм у птахів симпато-нормотонічного типу.

Проаналізувавши висоту ворсинок та глибину крипт вздовж кишкової стінки курей, бачимо, що ці показники мають як подібні, так і відмінні риси залежності від типології автономних впливів. Хоча, більші значення цих показників в тонкій кишці належать різним типам автономної регуляції, проте, назагал, вони формують компенсаторно-приспосувальну реакцію, направлену на підтримання морфофункціональної стабільності у кишковій стінці. Підтвердженням цього може служити і наступна похідна величина, яка відображає співвідношення між висотою ворсинок та глибиною крипт слизової оболонки. Даний показник дозволяє більш комплексно охарактеризувати стан слизової оболонки та зміни, які в ній відбуваються<sup>27</sup>.

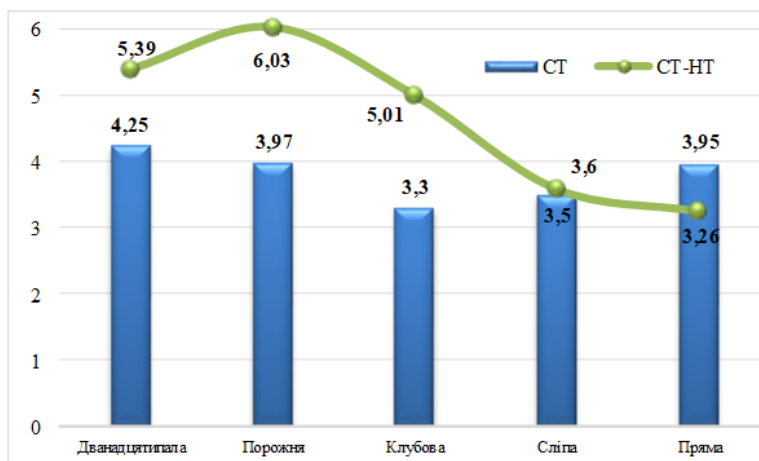
На основі проведених розрахунків (рис. 2) встановили, що вказане співвідношення відрізняється, як у окремих ділянках кишкової стінки, так і у різних груп птахів.

У більшій половині кишки досліджуване співвідношення є вищим у курей з нормотонічним нахилом автономної регуляції. Так, у дванадцятипалій кишці ця група птахів (5,39) переважає курей зі стійким тонусом симпатичних центрів (4,25) на 1,14 одиниць. Причому, для курей-СТ це є найвище значення всього кишечника. Птахи симпато-нормотонічного типу досягають максимальних значень у порожній кишці (6,03), в той час, як у іншій групі показник знижується до 3,97, тобто, різниця між групами зростає до 2,06 одиниць. У наступній кишці (клубовій) спостерігається, як зменшення даного відношення в кожній групі птахів – до 5,01 – у курей-СТ-НТ та 3,3 – у курей СТ, так і різниці між ними – до 1,68 одиниць. У сліпих кишках величина досліджуваного співвідношення у курей-СТ зростає до 3,5, а у СТ-НТ знижується до 3,6. Цей процес майже зрівнює показники в обох групах птахів, зменшуючи відмінності між ними до 0,1 одиниць. Пряма кишка, на відміну від решти ділянок, характеризується переходом переваги у значеннях даного

---

<sup>27</sup> Wilson F. D., Cummings T. S., Barbosa T. M., Williams C. J., Gerard P. D., Peebles E. D. Comparison of two methods for determination of intestinal villus to crypt ratios and documentation of early age-associated ratio changes in broiler chickens. *Poultry Science*. 2018. Vol. 97, No 5(1). P. 1757–1761. doi: 10.3382/ps/pex349

показника до курей-СТ (3,95), які перевищують курей СТ-НТ (3,26) на 0,69 одиниць.



**Рис. 2. Відношення висоти ворсинок до глибини крипт в окремих кишках курей**

Іншими науковцями<sup>28</sup> встановлено, що співвідношення між висотою ворсинок та глибиною крипт у дванадцятипалій кишці курчат-бройлерів віком 28 днів володіє позитивною кореляцією з кількістю молочнокислих бактерій ( $P < 0,05$ ). У порожній кишці спостерігається негативна кореляція з виходом гомілки ( $P < 0,05$ ). Ці дані вказують на можливість використання даного показника для характеристики стану здоров'я кишечника та продуктивних якостей курей.

#### **4. Товщина епітелію слизової оболонки кишечника**

Найбільш функціонально активною частиною слизової оболонки кишечника є її епітелій, який захищає внутрішнє середовище організму від зовнішніх впливів<sup>29</sup>. Надійність цього бар'єру забезпечується щільним з'єднанням між епітеліоцитами, у формуванні якого беруть участь спеціалізовані білкові молекули. Порушення структури останніх

<sup>28</sup> Nguyen, D. T. N., Le, N. H., Pham, V. V., Eva, P., Alberto, F., Le, H. T. Relationship between the ratio of villous height: crypt depth and gut bacteria counts as well production parameters in broiler chickens. *The Journal of Agriculture and Development*. 2021. Vol. 20. No 3. P. 1–10.

<sup>29</sup> Ganz, T. Epithelia: not just physical barriers. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2002. Vol. 99. P. 3357–3358. doi: 10.1073/pnas.072073199

приводить до розвитку хронічних або прогресуючих запальних процесів чи дистрофічних станів<sup>30,31</sup>. Поряд з тим, епітеліальний шар забезпечує поглинання поживних речовин і води з просвіту кишки та виділення продуктів обміну, а тому, характеризується вибірковою проникністю. Це надає епітелію важливої ролі у процесі взаємодії між імунною системою слизової оболонки та антигенними чинниками корму<sup>32</sup>. При цьому, різні імунологічні медіатори, включаючи цитокіни та хемокіни, що виділяються з кишкових епітеліальних клітин, під впливом кишкової мікробіоти, модулюють імунні відповіді господаря, підтримуючи добре збалансований зв'язок між кишковими мікробами та його імунною системою<sup>33</sup>.

Верхівка стовпчастих епітеліоцитів кишкової стінки містить щіткову облямівку, яка представлена пальцеподібними виступами – мікрворсинками. Вони значно покращують основну функцію цих клітин – поглинання поживних речовин корму. Кінцеве перетравлення останніх забезпечується завдяки наявності в плазматичній мембрані мікрворсинок численних гідролаз та транспортних молекул. Цитоскелет щіткової облямівки містить численні білки, які, взаємодіючи між собою, адаптують клітину до різних умов травлення<sup>34</sup>.

Результати власних морфометричних досліджень<sup>35</sup> доводять, що, порівняно з показниками кількості і висоти ворсинок та глибиною крипт, вплив інтегруючого тонуусу автономних центрів на товщину епітелію є менш вираженим особливо у тонкій кишці. Тут відмінності між курами з різними типологічними особливостями автономного балансу є мінімальними. Достовірність показників поступово зростає по мірі просування вздовж кишкової стінки, а перевага у всіх кишках знаходиться на боці курей-симпатотоніків (табл. 4).

---

<sup>30</sup> Oshima T., Miwa H. Gastrointestinal mucosal barrier function and diseases. *Journal of Gastroenterology*. 2016. No 51(8). P. 768–778. doi: 10.1007/s00535-016-1207-z

<sup>31</sup> Suzuki T. Regulation of intestinal epithelial permeability by tight junctions. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2013. No 70(4). P. 631–659. doi: 10.1007/s00018-012-1070-x

<sup>32</sup> Turner J. R. Intestinal mucosal barrier function in health and disease. *Nature Reviews Immunology*. 2009. No 9(11). P. 799–809. doi: 10.1038/nri2653

<sup>33</sup> Okumura R., Takeda K. Roles of intestinal epithelial cells in the maintenance of gut homeostasis. *Experimental & Molecular Medicine*. 2017. No 49(5). P. 338. doi: 10.1038/emm.2017.20

<sup>34</sup> Mamajiwala S. N., Fath K. R., Burgess D. R. 7 Development of the chicken intestinal epithelium. *Cytoskeleton in Development*. 1992. Vol. 26. P. 123–143. doi: 10.1016/S0070-2153(08)60443-3

<sup>35</sup> Тибінка А. М. Вплив різної типології автономного тонуусу на показники слизової оболонки кишечника курей. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Серія «Ветеринарні науки»*. Львів, 2015. № 3(63). С. 108–112.

Таблиця 4

**Товщина епітелію слизової оболонки окремих кишок курей,  
мкм (M±m)**

<b>Назва кишки</b>	<b>Кури-СТ</b>	<b>Кури-СТ-НТ</b>
Дванадцятипала	33,7±0,30	33,6±0,43
Порожня	33,9±0,33	33,5±0,31
Клубова	36,3±0,29*	33,6±0,34
Сліпі (середній показник ділянки основи)	36,4±0,38**	33,6±0,42
Пряма	39,3±0,47**	36,2±0,40

*Примітка:* \* – P<0,05; \*\* – P<0,01; \*\*\* – P<0,001.

Важливо зазначити, що товщину епітелію визначали на рівні середньої ділянки ворсинок.

У дванадцятипалій кишці товщина епітелію курей-СТ лише на 0,1 мкм перевищує показники СТ-НТ. У порожній кишці різниця між групами птахів, хоча і дещо зростає, проте, і надалі залишається незначною – 0,4 мкм. При переході до клубової кишки перевага курей зі стійким тонусом симпатичних центрів над птахами, автономний тонус яких має нормотонічний нахил, стає статистично достовірною і становить 2,7 мкм (P<0,05). Майже такою ж різниця між групами птахів залишається і у сліпих кишках, де кури першої групи переважають курей другої групи на 2,8 мкм (P<0,01). Проте, найбільш вираженими відмінності між курами двох типів автономного тонусу спостерігаються у прямій кишці. Тут кури-СТ-НТ поступаються курам-СТ на 3,1 мкм (P<0,01).

Коли показники окремих кишок згруппували у відділи, виявили, що у тонкій кишці курей-СТ (34,6±0,21 мкм) товщина епітелію є лише на 1 мкм більшою ніж у курей-СТ-НТ (33,6±0,18 мкм). Проте, у товстій кишці перевага птахів першої групи (37,9±0,31 мкм) над курами другої (34,9±0,30 мкм) збільшується у три рази і становить 3,0 мкм (P<0,01). Відповідно, середня товщина епітеліального шару у цілому кишечнику курей симпатотонічного типу автономної регуляції (36,3±0,18 мкм) є на 2,0 мкм (P<0,05) більшою ніж у птахів симпато-нормотонічного типу (34,3±0,16 мкм).

### **5. Товщина м'язової пластинки слизової оболонки кишечника**

Згідно даних наших досліджень, товщина м'язової пластинки слизової оболонки, порівняно з глибиною крипт та товщиною епітелію, характеризується протилежною залежністю від типології автономної регуляції. Це проявляється в тому, що у всіх кишках курам з вираженою нормотонією відповідають вищі значення цього показника порівняно з птахами із домінуванням симпатичних впливів (табл. 5). Спільною

ознакою з попереднім показником можна вважати те, що на початку тонкої кишки різниця між групами птахів є мінімальною і статистично не достовірною. Проте, вздовж кишкової стінки вона поступово зростає.

Таблиця 5

**Товщина м'язової пластинки слизової оболонки окремих кишок курей, мкм (M±m)**

Назва кишки	Кури-СТ	Кури-СТ-НТ
Дванадцятипала	36,8±0,35	37,2±0,45
Порожня	41,0±0,48	43,3±0,59*
Клубова	46,2±0,42	48,1±0,53*
Сліпі (середній показник ділянки основи)	33,3±0,52	39,1±0,41**
Пряма	37,7±0,30	41,4±0,50**

Примітка: \* – P<0,05; \*\* – P<0,01; \*\*\* – P<0,001.

Так, у дванадцятипалій кишці курей-СТ м'язова пластинка слизової оболонки є на 0,4 мкм тоншою порівняно з курами-СТ-НТ. У порожній кишці різниця між групами птахів зростає і кури із нормотонічним нахилом автономної регуляції переважають курей із домінуючим симпатичним тонусом на 2,3 мкм (P<0,05). У клубовій кишці різниця між типами автономного балансу дещо знижується. При цьому, кури-СТ за показником товщини м'язової пластинки слизової оболонки поступаються СТ-НТ на 1,9 мкм (P<0,05). У сліпих кишках перевага курей із підвищеним парасимпатичним тонусом над птахами зі стійким симпатичним тонусом зростає до 5,8 мкм (P<0,01). У прямій кишці досліджуваний показник також набуває більших значень у СТ-НТ. Кури-СТ поступаються їм на 3,7 мкм (P<0,01).

Відмінності, виявлені в окремих кишках птахів з різною типологією автономних впливів, проєктуються і на показники окремих відділів та цілого кишечнику курей. У тонкій кишці різниця товщини м'язової пластинки між курами-СТ (41,3±0,29 мкм) та СТ-НТ (42,9±0,35 мкм) становить 1,6 мкм (P<0,05). Це є менше ніж у товстій кишці, де кури зі стійким симпатичним тонусом (35,5±0,32 мкм) поступаються птахам з підвищеним парасимпатичним тонусом (40,3±0,33 мкм) на 4,8 мкм (P<0,001). Середні значення цілого кишечнику фіксують перевагу курей-симпато-нормотоніків (41,6±0,25 мкм) над курами-симпатотоніками (38,4±0,23 мкм) на рівні 3,2 мкм (P<0,01).

**6. Кількість келихоподібних клітин слизової оболонки кишечнику**

Слизовий шар кишечнику птахів продукується келихоподібними клітинами. Вони швидко розвиваються та дозрівають після вилуплення

у відповідь на зовнішні подразники, включаючи фактори навколишнього середовища, мікробіоту кишечника та особливості корму. Протягом онтогенетичного розвитку келихоподібних клітин змінюється склад муцину, обумовлюючи зміну фізико-хімічних властивостей слизового шару. Завдяки своїм антибактеріальним властивостям (наявність  $\beta$ -дефензину, лізоциму, авідину та IgA) кишковий слиз формує фізичний бар'єр, що захищає епітелій від проникнення патогенів. Слизовий бар'єр є першою лінією вродженого захисту шлунково-кишкового тракту та має вибіркочу проникність, що дозволяє поживним речовинам проходити крізь нього<sup>36</sup>.

У процесі онтогенезу клітини, що продукують муцин, виявляють в тонкій кишці бройлерів за 3 дні до вилуплення і вони містять лише кислий муцин. Протягом перших семи днів після вилуплення проксимальна, середня та дистальна ділянки тонкої кишки містять однакові пропорції келихоподібних клітин, що виробляють кислий і нейтральний муцини. Також спостерігається збільшення градієнта щільності келихоподібних клітин на ділянці від дванадцятипалої до клубової кишки. При цьому, глікопротеїни муцину відіграють ключову роль у регуляції властивостей епітелію шлунково-кишкового тракту. Обмеження доступу до корму протягом 48 годин після вилуплення призводить до збільшення кількості внутрішньоклітинних муцинів, що може бути наслідком порушення секреції муцину або його посиленого виробництва. Зміна кількості та хімічного складу муцину може впливати на абсорбційну та захисну функції тонкої кишки<sup>37</sup>.

У порожній та клубовій кишках бройлерів в період від 19 дня ембріогенезу до вилуплення спостерігають збільшення щільності келихоподібних клітин у ворсинках та клітин, що експресують мРНК Muc2 у криптах. Від вилуплення до другого дня життя даний процес зупиняється і знову відновлюється з другого по четвертий дні. У дванадцятипалій кишці в період від 19 дня ембріогенезу по 4 день після вилуплення щільність келихоподібних клітин у ворсинках та клітин, що експресують мРНК Muc2 у криптах залишається постійною. На четвертий день життя клубова кишка порівняно з дванадцятипалою характеризувалася більшою щільністю келихоподібних клітин у ворсинках та клітин, що експресують мРНК Muc2 у криптах. У цей же період більша щільність клітин, що експресують мРНК Muc2 спостерігалася у криптах порожньої кишки порівняно з

---

<sup>36</sup> Duangnumswang Y., Zentek J., Goodarzi Borojeni F. Development and functional properties of intestinal mucus layer in poultry. *Frontiers in Immunology*. 2021. Vol. 12. 745849. doi: 10.3389/fimmu.2021.745849

<sup>37</sup> Uni Z., Smirnov A., Sklan D.. Pre- and posthatch development of goblet cells in the broiler small intestine: effect of delayed access to feed. *Poultry Science*. 2003 Vol. 82. No 2. P. 320–327. doi: 10.1093/ps/82.2.320

дванадцятипалою. Представлені дані вказують на те, що популяція келихоподібних клітини дванадцятипалої кишки формується до кінця ембріонального розвитку, а у порожній і клубовій кишках – продовжує формуватися і після вилуплення<sup>38</sup>.

На основі власних досліджень<sup>39,40</sup> встановлено достовірно високий зв'язок між кількістю келихоподібних клітин та типом автономної регуляції функцій в організмі курей (табл. 6). Так, у дванадцятипалій кишці курей-СТ кількість келихоподібних клітин на одній ворсинці, є на 11 клітин ( $P<0,001$ ) більшою порівняно з СТ-НТ. Слід зазначити, що це є найбільша різниця цього показника у всьому кишечнику.

Таблиця 6

**Кількість келихоподібних клітин на одній ворсинці слизової оболонки кишки курей ( $M\pm m$ ).**

Назва кишки	Курей-СТ	Курей-СТ-НТ
Дванадцятипала	94,5±0,72***	83,5±0,66
Порожня	101,5±0,55*	98,3±0,67
Клубова	113,3±0,72	122,2±0,96***
Сліпі (середній показник ділянки основи)	71,6±0,58	81,7±0,76***
Пряма	84,6±0,55	88,2±0,65*

Примітка: \* –  $P<0,05$ ; \*\* –  $P<0,01$ ; \*\*\* –  $P<0,001$ .

У порожній кишці більша кількість келихоподібних клітин на одній ворсинці також спостерігається у курей першої групи. Птахи другої групи поступаються їм на 3,2 клітин ( $P<0,05$ ). Перехід до клубової кишки супроводжується зміщенням переваги у величині даного показника від курей-симпатотоніків до симпато-нормотоніків. При цьому, різниця між ними зростає до 8,9 клітин ( $P<0,001$ ).

У товстій кишці кури з нормотонічним акцентом автономної регуляції за величиною досліджуваного показника також переважають птахів з чітким домінуванням симпатичного тону. У сліпих кишках перевага курей-СТ-НТ над СТ досягає 10,1 клітин ( $P<0,001$ ). Проте, у прямій кишці відмінності між групами птахів суттєво зменшуються – до 3,6 клітин ( $P<0,05$ ).

<sup>38</sup> Reynolds K. L., Cloft S. E., Wong E. A. Changes with age in density of goblet cells in the small intestine of broiler chicks. *Poultry Science*. 2020 Vol. 99. No. 5. P. 2342–2348. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.052

<sup>39</sup> Гибінка А. М. Характеристика келихоподібних клітин слизової оболонки кишечника курей з різною типологією автономної регуляції. *Вісник державного агроєкологічного університету*. Житомир. 2012. № 1(32). Ч. 2. С. 385–389.

<sup>40</sup> Гибінка А. М. Вплив типологічних особливостей автономного тону на морфометричні показники келихоподібних клітин слизової оболонки кишечника курей. *Біологія тварин*. 2015. № 4. С. 129–135.



Значні відмінності кількості келихоподібних клітин на одній ворсинці, які виявлені в окремих кишках, на рівні відділів та цілого кишечнику дещо компенсуються. Так, у тонкій кишці перевага курей симпатотонічного типу автономної регуляції ( $103,1 \pm 0,50$  клітин) над птахами симпто-нормотонічного типу автономного балансу ( $101,3 \pm 0,79$  клітин) є дуже незначною – 1,8 клітин. У товстій кишці домінуюче положення вже займають кури-СТ-НТ –  $84,9 \pm 0,53$  клітин. Їх перевага над курами-СТ ( $78,1 \pm 0,52$  клітин) є більш вираженою ніж у попередньому відділі – 6,8 клітин ( $P < 0,001$ ). Оскільки різниця між типами інтегруючого тонузу автономних центрів в різних відділах кишки носить різнонаправлений характер і володіє різною інтенсивністю, то у середніх показниках цілого кишечнику більша кількість келихоподібних клітин все ж залишається у курей з підвищеним тонузом парасимпатичних центрів ( $93,1 \pm 0,58$  клітин). Кури з акцентованою симпатотонією ( $90,6 \pm 0,53$  клітин) поступаються їм на 2,5 клітин ( $P < 0,05$ ).

## ВИСНОВКИ

Онтогенетичне становлення слизової оболонки кишечнику курей під впливом різних типів автономної регуляції, проявляється морфометричними відмінностями структури, направлені на формування відповідних параметрів травлення.

При цьому, підвищення тонузу парасимпатичних центрів супроводжується збільшенням кількості та висоти ворсинок слизової оболонки, особливо в тонкій кишці. Ця закономірність обумовлює збільшення площі всмоктування цього відділу кишечника, що сприяє кращому засвоєнню поживних речовин корму. Чітко виражена симпатотонія незначно компенсує цю закономірність в кінці товстої кишки.

Поряд з тим, відношення висоти ворсинок до глибини крипт, у поєднанні з їх абсолютними показниками вказує на те, що вздовж кишкової стінки значення першого показника зменшуються інтенсивніше ніж другого. Залежність цього процесу від інтегруючого тонузу автономних центрів сильніше виражена у тонкій кишці і значно слабше – у товстій, що, можливо, пов'язано із поступовим зниженням інтенсивності процесів травлення та асиміляції поживних речовин.

Товщина епітелію, особливо у тонкій кишці, характеризується менш вираженою залежністю від типології автономних впливів, порівняно з попередніми показниками. Уздовж кишки спостерігається поступове зростання товщини епітеліального шару. У курей-СТ цей процес проходить інтенсивніше, порівняно з курами-СТ-НТ.

Товщина м'язової пластинки слизової оболонки, навпаки, має більші значення в курей з симпто-нормотонічним типом автономних впливів.

Це може вказувати на більшу рухову активність цієї оболонки в даній групі птахів і, таким чином, позитивно впливати на процеси травлення.

Кількість келихоподібних клітин однієї ворсинки має хвилеподібний характер вздовж кишкової стінки при обох типах автономної регуляції. Зміна тонкої кишки на товсту обумовлює суттєве зниження величини цього показника на фоні його попереднього зростання. Це характеризує особливості травлення в різних ділянках кишечника.

## АНОТАЦІЯ

Структура кишкової стінки формується в процесі онтогенезу під регуляторно-трофічним впливом автономної нервової системи. На основі власних досліджень, показано зв'язок між типологічними особливостями автономної регуляції та морфологією слизової оболонки кишечника курей-несучок кросу «Іза-Браун». За кількістю ворсинок на одному квадратному сантиметрі слизової оболонки цілого кишечника кури-симпатотоніки ( $637,7 \pm 19,27$  ворсинок) поступаються симпатонормотоніками ( $667,9 \pm 17,52$  ворсинок) на 30,2 ворсинок. За загальною кількістю ворсинок кишечника різниця між курми симпатотонічного типу автономного тонусу (313308,9 ворсинок) та симпатонормотонічного типу (343240,3 ворсинок) становить 29931,4 ворсинок з переважанням птахів другої групи. Середня висота ворсинок слизової оболонки також має незначну перевагу у курей-СТ-НТ ( $774,3 \pm 11,80$  мкм). У птахів-СТ ( $763,0 \pm 8,39$  мкм) значення даного показника є на 11,3 мкм нижчими. Утрічі більші відмінності між дослідними групами птахів формуються у глибині крипт – 33,5 мкм ( $P < 0,001$ ), причому, більші значення вже відповідають симпатотонічному типу автономної регуляції ( $200,0 \pm 1,97$  мкм), а менші – симпатонормотонічному типу ( $166,5 \pm 1,86$  мкм). Вирахувавши співвідношення між висотою ворсинок та глибиною крипт слизової оболонки, встановили, що в більшій половині кишечника воно є вищим у курей з нахилом до нормотонії. Підвищення тонусу парасимпатичних центрів також обумовлює зростання товщини м'язової пластинки слизової оболонки, яка у курей-симпатонормотоніків ( $41,6 \pm 0,25$  мкм) виявилася на 3,2 мкм ( $P < 0,01$ ) товстішою ніж в симпатотоніків ( $38,4 \pm 0,23$  мкм). Подібний зв'язок з типами автономної регуляції властивий і для кількості келихоподібних клітин однієї ворсинки, яка у курей з підвищеним тонусом парасимпатичних центрів ( $93,1 \pm 0,58$  клітин) переважала птахів з акцентованою симпатотонією ( $90,6 \pm 0,53$  клітин) на 2,5 клітин ( $P < 0,05$ ). Поряд з тим, у товщині епітеліального шару слизової оболонки вже незначну перевагу мають кури симпатотонічного типу автономної регуляції ( $36,3 \pm 0,18$  мкм),

а птахи симпато-нормотонічного типу ( $34,3 \pm 0,16$  мкм) поступаються їм на  $2,0$  мкм ( $P < 0,05$ ).

### Література

1. Dibner J. J., Richards J. D. The digestive system: challenges and opportunities. *The Journal of Applied Poultry Research*. 2004. Vol. 13. No 1. P. 86–93. doi: 10.1093/japr/13.1.86

2. Uni Z., Tako E., Gal-Garber O., Sklan D. Morphological, molecular, and functional changes in the chicken small intestine of the late-term embryo. *Poultry Science*. 2003. Vol. 82. P. 1747–1754. doi: 10.1093/ps/82.11.1747

3. Mitjans, M., Barniol, G., Ferrer, R. Mucosal surface area in chicken small intestine during development. *Cell and Tissue Research*. 1997. No 290. P. 71–78. doi: 10.1007/s004410050909

4. Jeurissen S.H.M., Janse E. M., Koch G., De Boer G. F. Postnatal development of mucosa-associated lymphoid tissues in chickens. *Cell and Tissue Research*. 1989. No. 258(1). P. 119–124. doi: 10.1007/BF00223151

5. Gabella G. Structure of the musculature of the chicken small intestine. *Anatomia, Histologia, Embryologia*. 1985. No 171. 139–149. Doi :10.1007/BF00341408

6. Тибінка А. М. Зв'язок морфологічних особливостей слизової оболонки кишечника з типами автономного тонуку курей. *Біоресурси і природокористування*. Київ, 2015. № 3-4. С. 72–75.

7. Tybinka A., Blishch H., Shchebentovska O. Influence of the type of autonomic tone on the volume of the mucous membrane of the small intestine of laying hens. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018. No 9(3). P. 453–459. doi: 10.15421/021868

8. Тибінка А. М. Показники варіаційної пульсометрії курей різних типів автономного тонуку. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Серія «Біологічні науки»*. Львів, 2012. № 2(52). Ч. 1. С. 337–340.

9. Esmail S. H. M. Scanning electron microscopy of intestinal villous structures and their putative relation to digestion and absorption in chickens. *Reproduction Nutrition Development*. 1988. Vol. 28. No 6A. P. 1479–1487. doi: 10.1051/rnd:19880905

10. Fenna L., Boag D. A. Adaptive significance of the caeca in Japanese quail and spruce grouse (Galliformes). *Canadian Journal of Zoology*. 1974. No. 52. P. 1577–1584. doi: 10.1139/z74-203

11. Fenna L., Boag D. A. Filling and emptying of the galliform caecum. *Canadian Journal of Zoology*. 1974. Vol. 52. P. 537–540. doi: 10.1139/z74-067

12. Ferrer R., Planas J. M., Dufort M., Moreto M. Morphological study of the caecal epithelium of the chicken (*Gallus gallus domesticus* L.). *British*

*Poultry Science*. 1991. Vol. 32. P. 679–691. doi: 10.1080/00071669108417394

13. Takeuchi T., Kitagawa H., Imagawa T., Uehara M. Proliferation and cellular kinetics of villous epithelial cells and M cells in the chicken caecum. *Journal of Anatomy*. 1998. Vol. 193. P. 233–239. doi: 10.1046/j.1469-7580.1998.19320233.x

14. Yamauchi K. Review on Chicken intestinal villus histological alterations related with intestinal function. *Journal of Poultry Science*. 2002. Vol. 39. No 4. P. 229–242. doi: 10.2141/jpsa.39.229

15. Awad W, Ghareeb K, Böhm J. Intestinal structure and function of broiler chickens on diets supplemented with a synbiotic containing *Enterococcus faecium* and oligosaccharides. *International Journal of Molecular Sciences*. 2008. No 9(11). P. 2205–2216. doi: 10.3390/ijms9112205.

16. Prakatur I., Miskulin M., Pavic M., Marjanovic K., Blazicevic V., Miskulin I. Domacinovic M. Intestinal morphology in broiler chickens supplemented with propolis and bee pollen. *Animals*. 2019. No 9. P. 1–12. doi: 10.3390/ani9060301

17. Ariyadi B., Sudaryati S., Harimurti S., Wihandoyo, Sasongko H., Habibi M. F., Rahayu D. Effects of feed form on small intestine histomorphology of broilers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 387. P. 1–4. doi 10.1088/1755-1315/387/1/012047

18. Marchini Cristiane F. P., Cafe Marcos B., Araujo Eugênio G., Nascimento Mara R. B. M. Physiology, cell dynamics of small intestinal mucosa, and performance of broiler chickens under heat stress: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2016. Vol. 29. No 3. P. 159–168. Doi: 10.17533/udea.rccp.v29n3a01

19. Geyra A., Uni Z., Sklan D. Enterocyte dynamics and mucosal development in the posthatch chick. *Poultry Science*. 2001. No 80(6). P. 776–782. doi: 10.1093/ps/80.6.776

20. Тибінка А. М. Сумарна кількість кишкових ворсинок у курей з різним типом автономного тонусу. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Серія «Біологічні науки»*. Львів, 2011. № 4(50). Ч. 2. С. 230–233.

21. Li J., Li J. Jr., Zhang S. Y., Li R. X., Lin X., Mi Y. L., Zhang C. Q. Culture and characterization of chicken small intestinal crypts. *Poultry Science*. 2018. Vol. 97, No 5. P. 1536–1543. doi: 10.3382/ps/pey010

22. Hodges R. D., Michael E. Structure and histochemistry of the normal intestine of the fowl. *Cell and Tissue Research*. 1975. No 160. P. 125–138. doi: org/10.1007/BF00219846

23. Uni Z., Platin R., Sklan D. Cell proliferation in chicken intestinal epithelium occurs both in the crypt and along the villus. *Journal of Comparative Physiology B*. 1998. No 168(4). P. 241–247. doi: 10.1007/s003600050142.

24. Zhang H., Li D., Liu L., Xu L., Zhu M., He X., Liu Y. Cellular composition and gifferentiation signaling in chicken small intestinal epithelium. *Animals (Basel)*. 2019. No 9(11). P 870. doi: 10.3390/ani9110870

25. Wang L., Li J., Li J. Jr., Li R. X., Lv C. F, Li S., Mi Y. L., Zhang C. Q. Identification of the Paneth cells in chicken small intestine. *Poultry Science*. 2016. Vol. 95. No 7. P. 1631–1635. doi: 10.3382/ps/pew079

26. Ти́бінка А. М., Кононенко В. С. Залежність відносних показників стінки кишечника курей від автономного профілю їх організму. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. Львів, 2009. № 2(41). Ч. 1. С. 322–325.

27. Wilson F. D., Cummings T. S., Barbosa T. M., Williams C. J., Gerard P. D., Peebles E. D. Comparison of two methods for determination of intestinal villus to crypt ratios and documentation of early age-associated ratio changes in broiler chickens. *Poultry Science*. 2018. Vol. 97, No 5(1). P. 1757–1761. doi: 10.3382/ps/pex349

28. Nguyen, D. T. N., Le, N. H., Pham, V. V., Eva, P., Alberto, F., Le, H. T. Relationship between the ratio of villous height: crypt depth and gut bacteria counts as well production parameters in broiler chickens. *The Journal of Agriculture and Development*. 2021. Vol. 20. No 3. P. 1–10.

29. Ganz, T. Epithelia: not just physical barriers. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2002. Vol. 99. P. 3357–3358. doi: 10.1073/pnas.072073199

30. Oshima T., Miwa H. Gastrointestinal mucosal barrier function and diseases. *Journal of Gastroenterology*. 2016. No 51(8). P. 768–778. doi: 10.1007/s00535-016-1207-z

31. Turner J. R. Intestinal mucosal barrier function in health and disease. *Nature Reviews Immunology*. 2009. No 9(11). P. 799–809. doi: 10.1038/nri2653

32. Okumura R., Takeda K. Roles of intestinal epithelial cells in the maintenance of gut homeostasis. *Experimental & Molecular Medicine*. 2017. No 49(5). P. 338. doi: 10.1038/emm.2017.20

33. Suzuki T. Regulation of intestinal epithelial permeability by tight junctions. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2013. No 70(4). P. 631–659. doi: 10.1007/s00018-012-1070-x

34. Mamajiwalla S. N., Fath K. R., Burgess D. R. 7 Development of the chicken intestinal epithelium. *Cytoskeleton in Development*. 1992. Vol. 26. P. 123–143. doi: 10.1016/S0070-2153(08)60443-3

35. Тибінка А. М. Вплив різної типології автономного тонусу на показники слизової оболонки кишечника курей. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Серія «Ветеринарні науки»*. Львів, 2015. № 3(63). С. 108–112.

36. Duangnumsaawang Y., Zentek J., Goodarzi Borojoni F. Development and functional properties of intestinal mucus layer in poultry. *Frontiers in Immunology*. 2021. Vol. 12. 745849. doi: 10.3389/fimmu.2021.745849

37. Uni Z., Smirnov A., Sklan D.. Pre- and posthatch development of goblet cells in the broiler small intestine: effect of delayed access to feed. *Poultry Science*. 2003 Vol. 82. No 2. P. 320–327. doi: 10.1093/ps/82.2.320

38. Reynolds K. L., Cloft S. E., Wong E. A. Changes with age in density of goblet cells in the small intestine of broiler chicks. *Poultry Science*. 2020 Vol. 99. No. 5. P. 2342–2348. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.052

39. Тибінка А. М. Характеристика келихоподібних клітин слизової оболонки кишечника курей з різною типологією автономної регуляції. *Вісник державного агроекологічного університету*. Житомир. 2012. № 1(32). Ч. 2. С. 385–389.

40. Тибінка А. М. Вплив типологічних особливостей автономного тонусу на морфометричні показники келихоподібних клітин слизової оболонки кишечника курей. *Біологія тварин*. 2015. № 4. С. 129–135.

**Information about the author:**

**Tybinka Andrii Mykhailovych,**

Doctor of Veterinary Sciences,

Professor at the Department of Normal and Pathological Morphology and

Forensic Veterinary Medicine

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine

and Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН У ЖИВЛЕНІ КРОЛІВ

Юзьвяк М. О., Лесик Я. В., Салига Ю. Т.

### ВСТУП

Мінеральні речовини в організмі кролів виконують низку фізіологічно важливих функцій<sup>1,2,3</sup>. Забезпеченість збалансованого мінерального живлення біодоступними макро-і мікроелементами позитивно впливає на ріст і розвиток організму та біологічну цінність їхньої продукції<sup>4,5</sup>. Відповідно до прогнозів Всесвітньої продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), в найближчі роки м'ясо кролів буде важливим продуктом харчування людини, завдяки високим поживним цінностям, що часто використовуються з дієтичною та лікувально-профілактичною метою<sup>6,7,8,9,10,11,12</sup>. Порівняно з іншими

---

<sup>1</sup>Chipo M. M., Mango L., Kugedera A. T., Lovemore M. Challenges and opportunities to rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) production and marketing. *Int J Agric Agribus*. 2019. 5. P. 37 – 44.

<sup>2</sup>Corino C., Modina S., Di Giancamillo A., Chiapparini S., Rossi, R. Seaweeds in pig nutrition. *Animals*. 2019. 9 (12). P. 11 – 26. DOI: [10.3390/ani9121126](https://doi.org/10.3390/ani9121126).

<sup>3</sup>Haque A., Rahman M., Bora J. Effect of breed, weaning age and feeding regime on chemical composition of rabbit meat. *Int J Vet Sci Anim Husb*. 2016. 1 (1). P. 12 – 13.

<sup>4</sup>Lesyk Y. V., Dychok-Niedzielska A. Z., Boiko O. V., Honchar O. F., Bashchenko M. I., Kovalchuk I. L., Gutyj, B. V. Hematological and biochemical parameters and resistance of the organism rabbits for feeding sulfur compounds. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. 13 (1). P. 60 – 66.

<sup>5</sup>Lesyk Ya., Dychok A. Prospects of using sulfur in the rabbits feeding. 13 Human health: realities and prospects. Health and nutrition. Monographic series, 3; edited by Nadiya Skotna, Drohobych: Posvit. 2018. P. 130 – 142

<sup>6</sup>Башенко М. І., Бойко О. В., Гончар О. Ф. Концепції розвитку кролівництва в Україні у повоєний період. Черкаська дослідна станція біоресурсів НААН. 2022. С. 4, 8.

<sup>7</sup>Abd El-Hack M. E., Mahrose K. M., Arif M., Chaudhry M. T., Saadeldin I. M., Saeed M., Soomro R. N., Abbasi I. H. R., Rehman Z. U. Alleviating the environmental heat burden on laying hens by feeding on diet s enriched with certain antioxidants (vitamin E and selenium) individually or combined. *Environ. Sci. Pollut. Res*. 2017. 24. P. 10708 – 10717. DOI: [10.1007/s11356-017-8690-5](https://doi.org/10.1007/s11356-017-8690-5).

<sup>8</sup>Cullere M., Zotte A. D., Tasoniero G., Giaccone V., Szendrő, Z., Szin M., Odermatt D., Gerencser Z., Dal Bosco A., Matics Z. Effect of diet and packaging system on the microbial status, pH, color and sensory traits of rabbit meat evaluated during chilled storage. *Meat Sci*. 2018. 141. P. 36 – 43. DOI: [10.1016/j.meatsci.2018.03.014](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.014).

<sup>9</sup>Dalle Zotte A. Rabbit farming for meat purposes. *Anim Front*. 2014. 4. P. 62 – 67.

<sup>10</sup>El-Medany S. A., El-Refaei W. H. M. Evaluation canola meal on growing rabbits; nutritionally and on their nutritional meat quality. *J Food Nut Res*. 2015.3 (4). P. 220 – 234. DOI: [10.12691/jfnr-3-4-](https://doi.org/10.12691/jfnr-3-4-)

<sup>11</sup>Pogány Simonová, M., Chrastinová L., Lauková A. Enterocin 7420 and Sage in Rabbit Diet and Their Effect on Meat Mineral Content and Physico-Chemical Properties. *Microorganisms*. 2022. 10(6). P. 10. DOI: [10.3390/microorganisms10061094](https://doi.org/10.3390/microorganisms10061094).

<sup>12</sup>Tufarelli V., Tateo A., Schiavitto M., Mazzei D., Calzaretti G., Laudadio V. Evaluating productive performance, meat quality and oxidation products of Italian White breed rabbits under free-range and cage rearing system. *Anim. Biosci*. 2022. 35. P. 884–889. DOI: [10.5713/ab.21.0327](https://doi.org/10.5713/ab.21.0327).

видами сільськогосподарських тварин м'ясо кролів, характеризується високою біологічною цінністю, містить вищий відсоток протеїну, легкозасвоюваного жиру, багате на поліненасичені та ненасичені жирні кислоти, особливо  $\omega$ -3 і  $\omega$ -6, з низьким рівнем холестеролу та Натрію<sup>13,14,15,16,17</sup>. М'ясо кролів містить цінні амінокислоти, зокрема лізин (2,12 г на 100 г), треонін (2,01 г на 100 г), лейцин (1,73 г на 100 г), фенілаланін (1,04 г на 100 г) та сульфурвмісні амінокислоти (1,10 г на 100 г). Крім того, воно не має сечової кислоти і містить низький рівень пуринів<sup>18,19</sup>. Для отримання бажаного ефекту у промисловому кролівництві необхідно дотримання усіх технологічних складових утримання та збалансованого за поживними цінностями, й особливо біодоступними та мінеральними речовинами раціону кролів, що забезпечить високу рентабельність ведення галузі.

### 1. Біологічне значення мінеральних речовин для організму кролів

За останні роки для повноцінного живлення кролів м'ясних спеціалізованих порід, застосовують різноманітні біологічно активні добавки. Використання вітамінів, амінокислот та особливо макро-і мікроелементів є необхідними для кролів за промислового утримання, оскільки це забезпечує перебіг метаболічних процесів їхнього організму<sup>20</sup>. Недостатність або надлишок мінеральних речовин та вітамінів, призводить до порушень фізіологічних процесів організму. На потребу тварин у мінеральних речовинах може впливати багато чинників, а саме: вид, вік, фізіологічний стан та продуктивність<sup>21</sup>.

---

<sup>13</sup> Alves dos Santos J. J., Fonseca Pascoal L. A., Brandão Grisi C. V., da Costa Santos V., de Santana Neto D. C., Filho, J. J., Ferreira Herminio M. P., Fabricio Dantas, A. Soybean oil and selenium yeast levels in the diet of rabbits on performance, fatty acid profile, enzyme activity and oxidative stability of meat. *Livest. Sci.* 2022. P. 263. DOI: 10.1016/j.livsci.2022.105021.

<sup>14</sup> Luo G., Zhu T., Ren Z. METTL3 Regulated the Meat Quality of Rex Rabbits by Controlling PCK2 Expression via a YTHDF2–N6–Methyladenosine Axis. *Foods.* 2022. (11). P. 1549. DOI: 10.3390/foods11111549.

<sup>15</sup> Pedro D., Saldana E., Lorenzo J. M., Pateiro M., Dominguez R., Dos Santos, A. B., Campagnol C. B. P. Low-sodium dry-cured rabbit leg: A novel meat product with healthier properties. *Meat Sci.* 2021. 173. P. 108 – 372. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108372.

<sup>16</sup> Shahida Anusha Siddiqui, Francesca Gerini, Ali Ikram, Farhan Saeed, Xi Feng, Yanping Chen. *Sustainability.* 2023. 15 (3). DOI:10.3390/su15032008.

<sup>17</sup> Szabó-Szentgróti E., Szigeti O. Consumers. Attitude to Consumption of Rabbit Meat in Eight Countries Depending on the Production Method and Its Purchase Form. *Foods.* 2020. 9 (5). P. 654. DOI:10.3390/foods9050654.

<sup>18</sup> Hernández P. Carne de conejo, ideal para dietas bajas en ácido úrico. *Revista Científica de Nutrición.* N° 8 Septiembre. *Boletín de cunicultura.* 2007. 154. P. 33 – 36.

<sup>19</sup> Hernández P., Dalle Zotte A. Influence of diet on rabbit meat quality. In: de Blas C, Wiseman J (eds) *The nutrition of the rabbit.* CABI-Publishing, Oxon. 2010. P. 163 – 178.

<sup>20</sup> Carlos de Blas, Wiseman J. *Nutrition of the Rabbit.* 3rd Edition. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 2020. P. 370.

<sup>21</sup> Luciano Pinotti, Michele Manoni, Luca Ferrari, Marco Tretola, Roberta Cazzola, Ian Givens *The Contribution of Dietary Magnesium in Farm Animals and Human Nutrition.* *Nutrients.* 2021. 13 (2). P. 509. DOI: 10.3390/nu13020509.



Необхідними із макроелементів для організму кролів є Кальцій, Фосфор, Магній, Натрій і Калій. З мікроелементів Ферум, Манган, Купрум, Кобальт, Цинк, Йод, Хром, Сульфур<sup>22</sup>. Кальцій входить до складу скелету тварини і необхідний для формування кісток та зубів. Він є потрібним для регулювання кислотного та лужного балансу в організмі, стабілізації функції м'язів, нервової системи, зсіданні крові, а також забезпечує нормальну роботу міокарду<sup>23</sup>. Недостатність Кальцію призводить до уповільнення росту молодяку кролів, порушення розвитку зубів та формування кісток скелету<sup>24</sup>.

Магній виконує важливі функції в клітинному метаболізмі та розвитку кісток. Міститься в кістках у вигляді бікарбонатів та фосфатів. Включає в своєму складі металопротеїди. Є кофактором ензимів, таких як ацетил-КоА-синтетаза, гексокіназа, аміноацил-т-РНК-синтетаза. У рослинних кормах Магній зв'язаний з протеїном та органічними речовинами<sup>25</sup>. Бере участь у формуванні кісток і зубів, роботі м'язів та нервовому збудженні. Іони Магнію задіяні у аеробному розпаді вуглеводів та ліпідів.

Фосфор міститься в кістковій тканині, крові та ядрі клітини, займає важливе місце в обміні речовин організму кролів. За дефіциту Фосфору порушується репродуктивна функція та знижується продуктивність тварин. Фосфор необхідний для забезпечення нормального розвитку скелету кролика та міцності емалі зубів. Важливо забезпечити раціон для кролів кормами, які містять Фосфор та Кальцій у співвідношенні 2:1.

Натрій входить до складу крові та лімфи, регулює осмотичний тиск в клітинах та тканинах, створює необхідне рН крові, стимулює серцево-судинну систему та впливає на передачу нервових імпульсів. Бере участь у поглинанні та транспортуванні поживних речовин через мембрану клітини, регулює кількість позаклітинної рідини та процеси водно-сольового обміну в організмі.

Калій входить до складу клітин організму тварини і відповідає за регуляцію водного та кислотно-лужного балансу, м'язової активності, регуляції серцевого ритму, сприяє зниженню кров'яного тиску, зменшує ризик виникнення серцево-судинних захворювань<sup>26</sup>. Калій є важливим

---

<sup>22</sup> Лесик Я. В. Федорук Р. П, Кирилів Я. І, Дубинка І. А. Технологія виробництва продукції кролівництва: науково – практичний посібник. Львів. 2013. С. 54.

<sup>23</sup> Mattioli S., Dal Bosco A., Duarte J. M. M., D'Amato R., Castellini C., Beone G. M., Fontanella M. C., Beghelli D., Regni L., Businelli D., et al. Use of Selenium-enriched olive leaves in the feed of growing rabbits: Effect on oxidative status, mineral profile and Selenium speciation of Longissimus dorsi meat. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2019. 51. P. 98 – 105. DOI: 10.1016/j.jtemb.2018.10.004.

<sup>24</sup> Башенко М. І, Гончар О. Ф., Шевченко Є. А. Кролівництво: Монографія. Черкаси. Черкаський інститут АПВ. 2011. С. 35, 37, 82, 83.

<sup>25</sup> Федак Н. М. Мінеральні речовини в годівлі сільськогосподарських тварин. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2012. Вип. 54. С. 128 – 135.

<sup>26</sup> Simonová M. P., Chrastinová L., Chrenková M., Formelová Z., Kandričáková A., Bino E., Lauková A. Benefits of enterocin M and sage combination on the physico-chemical traits, fatty

для фізіологічної функції скелетних м'язів, бере участь у передачі нервових імпульсів, забезпечує зв'язок між нервовою системою та м'язовими волокнами.

Ферум необхідний для синтезу гемоглобіну, входить до складу міоглобіну, що забезпечує перенесення кисню у м'язових волокнах<sup>27,28</sup>. Сполуки феруму накопичуються в тканинах селезінки та печінки. Недостатня кількість цього мікроелементу призводить до сухості шкіри, анемії, порушень еритропоезу та синтезу гемоглобіну<sup>29</sup>.

Манган необхідний для формування кісток та біохімічних процесів організму. Цей мікроелемент важливий як кофактор і активатор багатьох ензимів, зокрема, галактозилтрансферази, глутамінсинтетази, аргінази, піруваткарбоксилази та супероксиддисмутази, а також для забезпечення інтенсивного росту й розвитку організму, особливо швидкоростучих м'ясних порід кролів.

Купрум є есенціальним елементом низки металоензимів. Необхідний в окисно-відновних реакціях, транспорті кисню та електронів, захисті від окисдатовного стресу, рецеркуляції жовчних кислот, ненасичених жирних кислот і сприяє нейтралізації ксенобіотиків у тканинах печінки та загалом організму кролів. Купрум бере активну участь в метаболічних реакціях, включаючи клітинне дихання, пігментацію тканин, утворення гемоглобіну, активізуючи Ферум у тканині печінки<sup>30 31</sup>.

Кобальт виконує важливу роль у регуляції гемопоезу, обміну протеїну, входить до структури мієлінової оболонки нервових клітин. Цей елемент бере участь у синтезі амінокислот, ліпідів, протеїну, вуглеводів та синтезу інсуліну. Організм кролика потребує Кобальту для синтезу вітаміну В<sub>12</sub>, який необхідний для функціонування нервової системи, регуляції метаболізму, синтезу гемоглобіну та еритропоезу. Кобальт потрапляє в організм з кормами раціону у формі вітаміну В<sub>12</sub>. Недостатність Кобальту в

---

acid, amino acid, and mineral content of rabbit meat. *Probiotics Antimicro.* 2020. 12. P. 1235–1245. DOI: 10.1007/s12602-019-09627-5.

<sup>27</sup> Wang Y., Jiang M., Zhang Z., Sun H. Effects of over-load iron on nutrient digestibility, haemato-biochemistry, rumen fermentation and bacterial communities in sheep. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2020. 104. P. 32–43. DOI:10.1111/jpn.132255.

<sup>28</sup> Wessling-Resnick M. Iron. Basic nutritional aspects. In *Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals*. 2017. P. 161–173. DOI: 10.1016/B978-0-12-802168-2.00014-2.

<sup>29</sup> Mohammad Asadi, Abdolhakim Toghory, Maryam Hatami, Jalil Ghassemi Nejad. Milk Supplemented with Organic Iron Improves Performance, Blood Hematology, Iron Metabolism Parameters, Biochemical and Immunological Parameters in Suckling Dalagh Lambs. *Animals*. 2022. 12 (4). P. 510. DOI: 10.3390/ani12040510.

<sup>30</sup> Деркач Є. А., Шепельова І. А., Моторюк А. В., Мельникова Н. М. Вплив наноаквахелатів і макродисперсної форми купруму на концентрацію церулоплазміну в крові кролів. *Біологія тварин*. 2012. 14 (1–2). С. 80–84.

<sup>31</sup> Manto M. Abnormal copper homeostasis: mechanisms and roles in neurodegeneration. *Toxics*. 2014. 2 (2). P. 327–345. DOI: 10.3390/toxics2020327.

організмі кролів, може призвести до розвитку анемії, оскільки кролик не може синтезувати достатню кількість вітаміну В<sub>12</sub>.

Цинк є компонентом понад 300 ензимів і понад 2000 транскрипційних факторів, що бере активну участь у біосинтезі нуклеїнових кислот та процесах поділу клітин<sup>32,33</sup>. Цинк необхідний у системі антиоксидантного захисту, для зниження негативної дії вільних радикалів, які утворюються у результаті перебігу біохімічних реакцій в статевих та соматичних клітинах<sup>34</sup>. У період статевого дозрівання в організмі кролів Цинк відіграє важливу роль в стимулюванні репродуктивної функції. Недостатня кількість Цинку в організмі призводить до безпліддя<sup>35</sup>.

Йод є незамінним елементом, що необхідний для функціонування всіх систем організму<sup>36</sup>. Він необхідний для синтезу гормонів щитоподібної залози, тироксину (Т<sub>4</sub>) і трийодтироніну (Т<sub>3</sub>), що регулюють енергетичний обмін в організмі тварин<sup>37</sup>. Йод через гормони щитоподібної залози відіграє важливу роль у терморегуляції, що є важливим у кролівництві, особливо у літню пору року. Йод і гормони щитоподібної залози стимулюють процес лактації, функцію м'язів, імунобіологічного захисту та відтворну здатність<sup>38</sup>.

Хром необхідний мікроелемент для вуглеводного, ліпідного та протеїнового обміну<sup>39,40</sup>. Хром здатний сприяти переносу транспортера глюкози з цитоплазми на клітинну мембрану, через активацію рецепторів інсуліну, що в свою чергу забезпечує надходження глюкози

---

<sup>32</sup> Chasapis C. T., Ntoupa P. A., Spiliopoulou C. A., Stefanidou, M. E. Recent aspects of the effects of zinc on human health. *Arch. Toxicol.* 2020. 94. P. 1443 – 1460. DOI: 10.1007/s00204-020-02702-9.

<sup>33</sup> Mateos G. G., Garia-Rebollar P. de Blas C. Minerals, vitamins and additives. In *Nutrition of the Rabbits*, 3rd ed. 2020. P. 126 – 133. DOI:10.3390/ani11030756.

<sup>34</sup> Zhao C. Y., Tan S. X., Xiao X. Y., Qiu X. S., Pan J. Q., Tang Z. X. Effects of dietary zinc oxide nanoparticles on growth performance and antioxidative status in broilers. *Biol Trace Elem Res.* 2014.160. P. 1 – 7. DOI:10.1007/s12011-014-0052-2.

<sup>35</sup> May Bin-Jumah, Mohamed E Abd El-Hack, Sameh A Abdelnour, Yasmeeen A Hendy et. al Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. *Sci Total Environ.* 2020. 707. P. 135996 – 135996. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135996

<sup>36</sup> Mahmood Y. Bilal1, Svetlana Dambaeva, Joanne Kwak-Kim, Alice Gilman-Sachs, Kenneth D Beaman. A Role for Iodide and Thyroglobulin in Modulating the Function of Human Immune Cells. 2017. 8. DOI: 10.3389/fimmu.2017.01573.

<sup>37</sup> Rashmi Mullur, Yan-Yun Liu, Gregory A. Brent. Thyroid Hormone Regulation of Metabolism. *Physiol Rev.* 2014. 94 (2). P. 355 – 382. DOI:10.1152/physrev.00030.2013.

<sup>38</sup> Zimmermann M. B. Iodine deficiency. *Endocr. Rev.* 2009. 30.P. 376 – 408. DOI:10.1210/er.2009-0011.

<sup>39</sup> El-Kholy M. S., El-Hindawy M. M., Alagawany M., Abd El-Hack M. E, El-Sayed S.A. Use of acetylsalicylic acid as an allostatic modulator in the diets of growing Japanese quails exposed to heat stress. *J Therm Biol.* 2018.74. P. 6 – 13. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.02.011.

<sup>40</sup> El-Kholy M. S., El-Hindawy M. M., Alagawany M., Abd El-Hack M. E, El-Sayed S.A. Use of acetylsalicylic acid as an allostatic modulator in the diets of growing Japanese quails exposed to heat stress. *J Therm Biol.* 2018.74. P. 6 – 13. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.02.011.

до клітини<sup>41</sup>. Встановлено, що органічний хром може значно збільшити добовий приріст і споживання корму у раціоні кролів, які страждають від теплового стресу. Додавання до корму органічного хрому в кількості 0,4 мг/кг корму, підвищувало ріст і розвиток організму кролів, а застосування 1,6 мг/кг корму активувало функцію клітинного імунітету<sup>42</sup>. Сульфур бере участь у процесах метилювання та відновлення ДНК, метаболізмі ензимів, гормонів та вітамінів. Є важливим структурним компонентом протеїну, оскільки входить до структури амінокислот, зокрема метіоніну та цистеїну.

## 2. Фізіологічні особливості розвитку системи травлення кролів

Система травлення кролів формується до трьохмісячного віку<sup>43</sup>. У новонароджених кроленят 16 зубів у дорослих особин 26 – 28 зубів. На верхній щелепі – 16 (14), на нижній щелепі – 12 зубів. Зуби ростуть безперервно протягом усього життя тварини. Цей ріст становить 2 мм за тиждень на верхній та 2,4 мм на нижній щелепі<sup>44</sup>. Під час подрібнення корму у ротовій порожнині корм змочується слинними залозами та під дією ензимів: діастази та птіаліну, розщеплює крохмаль до глюкози. Подрібнений та частково перетравлений корм, через стравохід потрапляє до шлунку. Стравохід забезпечує пересування харчового комка до шлунку перистальтичними скороченнями м'язів<sup>45</sup>.

Шлунок у кролів однокамерний. Має вигляд витягнутого підковоподібного мішка об'ємом 180 – 200 мл<sup>3</sup>. «Сліпа» частина шлунка називається – дно, а протилежна ділянка – антральний відділ, що закінчується в області пілоруса, де відбувається регулювання відтоку хімусу в тонкий кишечник, завдяки розвиненому сфінктеру. За фізіологічних умов у кролика шлунок ніколи не порожній. Його вміст, складається з їжі або цекотрофів, що знаходиться на дні шлунка та становить від 90 до 120 г. Вміст сухої речовини коливається від 16 до 21 %. Залози шлунку виділяються шлунковий сік, що містить соляну кислоту, пепсин та деякі іони  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ . Соляна кислота підтримує рівень рН на рівні від 1,5 до 2,0 (дуже кислий). За дії пепсину відбувається гідроліз складних протеїнів, які розщеплюються до амінокислот. Загальна кислотність шлункового соку становить від 0,18 –

---

<sup>41</sup> Vincent J. B. Is the pharmacological mode of action of chromium (III) as a second messenger. *Biol Trace Elem Res.* 2015. 166. P. 7 – 12. DOI: 10.1007/s12011-015-0231-9.

<sup>42</sup> Huang C. B., Tang L., Guo Z. Q., Yan J. Y., Xie X. H., Lei, M. Effects of organic chromium on the production performance and immune function of heat-stressed rabbits. *Chin J Anim Husb.* 2017. 53. P. 93. DOI: 10.19556/j.0258-7033.2017-03-093.

<sup>43</sup> Garreau H., Theau-Clement M. Anatomie, taxonomie, origine, évolution et domestication. in: *Le lapin : de la biologie à l'élevage. Quae Edition.* 2015. P. 1437. ISBN 978-2-84444-347-2.

<sup>44</sup> Lebas F. Alimentation et santé digestive chez le lapin. Une journée de Formation organisée par l'ASFCA et l'AFTAA. *Cuniculture.* 2006. 33. P. 63 – 70.

<sup>45</sup> Suckow M., Stevens K., Wilson R. P. The Laboratory Rabbit, Guinea Pig, Hamster, and Other Rodents. *Academic Press, Amsterdam.* 2012. P. 157. ISBN 978-0-12-380920-9.1.

0,35 %<sup>46</sup>. Корм у шлунку кролика знаходиться від 3 до 10 год. Після того, як тварина поїдає корми, частина потрапляє до шлунка, а інша завдяки скороченню м'язів шлунка пересувається до кишечника. Клітковина у шлунку кролів не перетравлюється і надходить у дванадцятипалу кишку.

Кишечник кролів має вигляд численних звивистих петель, що поділяється на тонкий і товстий відділи. Тонкий відділ кишечника має довжину від 3,2 до 4,5 м з діаметром 0,8 – 1 см і складається з дванадцятипалої кишки, де виділяються соки підшлункової залози та жовч. Порожня та клубова відділи кишечника – це місце, де поживні речовини всмоктуються у кров. Їжа проходить через тонкий кишечник приблизно за 1 годину 30 хвилин<sup>47</sup>. Вміст тонкого кишечника рідкий, особливо в дванадцятипалій кишці. На стінках тонкого кишечника розташовані поодинокі ділянки лімфатичних вузлів – Пейєрові пляшки, що виконують імунну функцію. Залози стінки тонкого кишечника виділяють ензими: карбоксипептидазу, дисахаридазу, які разом з секретом підшлункової залози (ліпаза, амілаза, трипсин, хімотрипсин тощо), розщеплюють складні речовини до простих з дальшим всмоктуванням у кров та лімфу. Рівень рН у передньому відділі кишечника лужне (рН 7,2 – 7,5) і поступово стає більш кислим, досягаючи рН 6,2 – 6,5 у клубовій кишці.

У печінці відбувається обмін азотистих сполук, вуглеводів та ліпідів. Вона виконує роль детоксикації продуктів обміну речовин. У печінці виробляється жовч, яка накопичившись потрапляє у дванадцятипалу кишку через жовчну протоку.

Товстий відділ кишечника представлений сліпою, ободовою та прямою кишками, що закінчується анусом. Сліпа кишка, довжиною 40 – 45 см і діаметром 3 – 4 см. Вміст сліпої кишки становить близько 50 % всього вмісту травного тракту. Внутрішній вміст сліпої кишки пастоподібний (20 – 23 % сухої речовини) і однорідний з рН 6. Стінка сліпої кишки має вигляд спіралі із 22 – 25 витків. У порожнині сліпої кишки інтенсивно проходять мікробіологічні процеси. Під дією ензимів мікроорганізмів відбувається розщеплення й перетравлення клітковини та бродильні процеси у сліпій та ободових відділах кишечника. На кінці сліпої кишки є відросток (10 – 12 см), апендикс, який має значно менший діаметр. Його товста стінка складається з лімфоїдної тканини. Мікрофлора товстого кишечника функціонує залежно від складових та поживних характеристик раціону, а також вікових особливостей тварини.

При народженні молодняк кролів не має необхідних мікроорганізмів у шлунку, і вони отримують їх з молоком кролематки. При відлученні молодняку кролів від кролематок, спостерігається зниження ефективності перетравлення їжі травними соками. Зниження цієї

---

<sup>46</sup> Gidenne T. Recent Advances in Rabbit Nutrition : Emphasis on Fibre Requirements. A Review. *World rabbit Sci.* 2000. 8. P. 23 – 32. DOI: 10.4995/wrs.2000.414.

<sup>47</sup> Gidenne T. Physiologie. in: *Le lapin : de la biologie à l'.* *Quaepubl.* 2015. P. 33 – 76.

ефективності особливо помітне, якщо відлучення відбувається в ранньому віці (28 – 30 днів). Якщо відлучення відбувається пізніше (40 – 45 днів), зниження ефективності перетравлення є менш помітним, при відлученні молодняку на 60 день, зниження ефективності травлення не спостерігається.

За раннього відлучення молодняку кролів від кролематки спостерігається зниження кількості споживання кормів на перший та другий день, але потім споживання різко зростає. Це може призвести до проблем з органами травлення у кролів. Тому, у раціоні молодняку важливо протягом 7 – 10 днів після відлучення від кролематки обмежити споживання грубих кормів<sup>48</sup>.

На слизовій оболонці товстого кишечника є поглиблення – крипти, що містять багато слизу. У товстій кишці всмоктується до 95 % води та деякі мінеральні речовини. Однак, основна частина засвоєння мінеральних речовин відбувається в тонкому відділі кишечника<sup>49</sup>. Перистальтичні скорочення м'язів товстої кишки допомагають переміщенню хімусу через ободову до прямої кишки, де утворюється та накопичується кал.

Специфічність та унікальність травної системи у кролів полягає в подвійній функції проксимального відділу товстої кишки. Якщо вміст сліпої кишки потрапляє в товсту кишку рано-вранці, він зазнає незначних біохімічних змін. Стінка товстої кишки виділяє слиз, який поступово обволікає гранули, що утворилися внаслідок її скорочень. Ці гранули збираються у видовжені скупчення і називаються цекотрофи (м'який кал). Циклотрофія – біологічний процес поїдання м'якого калу, який виділяється зазвичай у ночі.

Якщо вміст сліпої кишки потрапляє до товстого кишечника у інший час доби, то активність проксимального відділу товстої кишки зовсім інша. Починають діяти послідовні скорочення, що чергуються у різних напрямках: перші – для нормального виведення вмісту, другі – для повернення його назад у сліпу кишку. Більша частина рідкої фракції виштовхується назад у сліпу кишку. Товстий відділ кишечника у кролів продукує утворення двох типів калу: твердого та м'якого. М'який кал містить більше протеїну, бактеріального походження, а також вітаміни групи В і К. Твердий кал виводяться з організму, а м'який проковтуються кроликом безпосередньо після виведення з анального отвору.

Дослідженнями встановлено, що циклотрофія є важливою складовою раціону кролів, здатною збільшити загальне споживання протеїну до

---

<sup>48</sup> Gutiérrez I., A. Espinosa Garcia R. Carabano J. C. De Blas. Effects of starch and protein sources, heat processing and exogenous enzymes in starter diets for early-weaned rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2002. 98 (3). P. 175 – 186. DOI: 10.1016/S0377-8401(02)00028-7.

<sup>49</sup> Jesse P., Goff. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J. Dairy Sci.* 2018. 101. P. 2763 – 2813. DOI: org/10.3168/jds.2017-13112.

38 % у молодянку<sup>50 51</sup>. Циклотрофія допомагає уникнути втрат ендogenousного азоту та забезпечує надходження лізину до 23 % для лактуючих кролематок, збільшуючи засвоєння незамінних амінокислот<sup>52,53</sup>. Циклотрофія корисна для гомеостазу кишкової мікрофлори. Доведено, що циклотрофія має суттєвий вплив на мікроорганізми сліпої кишки, що призводить до збільшення їхньої різноманітності та впливає на живлення й енергетичний гомеостаз<sup>54,55,56,57,58</sup>.

Нічний кал відрізняється від денного за формою та складом хімічних речовин. Він має м'яку овальну форму, покриту зверху слизю, і містить до 70 % води. Кульки калу злипаються в грона по 35 – 40 штук і потрапляють до шлунка. У шлунку під дією мікроорганізмів, що містяться у калі, починається перетравлювання поживних речовин, включаючи клітковину. Кульки калу всмоктують воду, стають круглими, і після близько шести годин вони лопаються. Засвоєння мікробного протеїну в шлунку сприяє утворенню вітаміну В<sub>12</sub>. Кролі поїдають нічний кал прямо з ануса, що є їхнім природним способом забезпечення вітамінами та поживними речовинами. У кролівничих господарствах застосовують різні раціони годівлі, які залежать від технології утримання та розведення кролів.

---

<sup>50</sup> Belenguer Á., Balcells J., Guada J. A., Decoux M., Milne, E. Protein Recycling in Growing Rabbits: Contribution of Microbial Lysine to Amino Acid Metabolism. *Br. J. Nutr.* 2005. 94 (5). P. 763 – 770. DOI: 10.1079/bjn20051508.

<sup>51</sup> Liu Q.-S., Li J.-Y., Wang D.-H. Ultradian Rhythms and the Nutritional Importance of Caecotrophy in Captive Brandt's Voles (*Lasiopodomys Brandtii*). *J. Comp. Physiol. B.* 2007. 177. P. 423 – 432. DOI: 10.1007/s00360-006-0141-4.

<sup>52</sup> Abecia L., Balcells J., Fondevila M., Belenguer A., Holtrop G., Lobley G. E. Contribution of Gut Microbial Lysine to Liver and Milk Amino Acids in Lactating Does. *Br. J. Nutr.* 2008. 100. P. 977 – 983. DOI: 10.1017/S0007114508957986.

<sup>53</sup> García A. I., De Bias J. C., Carabaño R. Effect of Type of Diet (Casein-based or Protein-free) and Caecotrophy on Ileal Endogenous Nitrogen and Amino Acid Flow in Rabbits. *Anim. Sci.* 2004. 79 (2). P. 231 – 240. DOI: 10.1017/S1357729800090093.

<sup>54</sup> Klaasen H. L. B. M., Koopman J. P., Scholten P. M., Van Den Brink M. E., Theeuwes A. G. M. Effect of Preventing Coprophagy on Colonisation by Segmented Filamentous Bacteria in the Small Bowel of Mice. *Microb. Ecol. Health Dis.* 2009. 3. P. 99 – 103. DOI: 10.3109/08910609009140123.

<sup>55</sup> Kobayashi A., Tsuchida S., Ueda A., Yamada T., Murata K., Nakamura H., et al. Role of Coprophagy in the Cecal Microbiome Development of an Herbivorous Bird Japanese Rock Ptarmigan. *J. Veterinary Med. Sci.* 2019. 81.P. 1389 – 1399. DOI: 10.1292/jvms.19-0014.

<sup>56</sup> Li R., Li X., Huang T., Wang Y., Xue M., Sun S., et al. Influence of Cecotrophy on Fat Metabolism Mediated by Caecal Microorganisms in New Zealand White Rabbits. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2020. 104. P. 749 – 757. DOI: 10.1111/jpn.13309.

<sup>57</sup> Tremaroli V., Bäckhed F. Functional Interactions between the Gut Microbiota and Host Metabolism. *Nature* . 2012. 489. P. 242 – 249. DOI: 10.1038/nature11552.

<sup>58</sup> Ziętak M., Kovatcheva-Datchary P., Markiewicz L. H., Ståhlman M., Kozak L. P., Bäckhed F. Altered Microbiota Contributes to Reduced Diet-Induced Obesity upon Cold Exposure. *Cell Metab.* 2016. 23. P. 1216 – 1223. DOI: 10.1016/j.cmet.2016.05.001.

### 3. Зміни в організмі кролів за дії теплового стресу

Глобальне потепління є важливою проблемою у тваринництві, оскільки підвищена температура навколишнього середовища негативно впливає на організм тварин. У порівнянні з іншими сільськогосподарськими тваринами, кролі більш чутливі до теплового стресу, оскільки здатні регулювати температуру тіла у вузькому діапазоні, через відсутність потових залоз. Підвищення температури довілля негативно впливає на здоров'я кролів, зокрема порушується ендокринна регуляція, імунна та репродуктивна функція, що призводить до зниження продуктивності та збільшення загибелі тварин<sup>59,60,61,62</sup>. Прогнозується, що глобальне потепління зростатиме протягом наступних кількох десятиліть, якщо викиди парникових газів продовжуватимуть збільшуватися<sup>63</sup>. Тепловий стрес є головною проблемою у кролівництві, особливо в тропіках і під час літньої спеки в регіонах з помірним кліматом<sup>64</sup>.

Реакція тварин на підвищену температуру навколишнього середовища, яка перевищує зону теплового комфорту, викликає тепловий стрес<sup>65,66</sup>. Тепловий стрес виникає, коли тепло, що виробляють тварини, перевищує їхню здатність розсіювати додаткове тепло в

---

<sup>59</sup> El-Badawi A. Y., El-Wardany I., Abd El-Moez S. I., et al. Impact of dietary *Moringa oleifera* leaves on intestinal pathogenic load and histological structure of growing rabbits raised under heat-stress conditions. *Anim Prod Sci.* 2017. 58 (10). P. 1901 – 1907. DOI: 10.1071/AN16540.

<sup>60</sup> El-Badawi A. Y., El-Wardany I., Abd El-Moez S. I., et al. Impact of dietary *Moringa oleifera* leaves on intestinal pathogenic load and histological structure of growing rabbits raised under heat-stress conditions. *Anim Prod Sci.* 2017. 58 (10). P. 1901 – 1907. DOI: 10.1071/AN16540.

<sup>61</sup> Oladimeji A.M., Johnson T.G., Metwally K., Farghly M., Mahrose K.M. Environmental heat stress in rabbits: implications and ameliorations. *Int J Biometeorol.* 2022. 66 (1). P. 1 – 11. DOI: 10.1007/s00484-021-02191-0.

<sup>62</sup> Zi-Long Liang, Fan Chen, Sungkwon Park, Balamuralikrishnan Balasubramanian, Wen-Chao Liu. Impacts of Heat Stress on Rabbit Immune Function, Endocrine, Blood Biochemical Changes, Antioxidant Capacity and Production Performance, and the Potential Mitigation Strategies of Nutritional Intervention. *Front Vet Sci.* 2022. 9. DOI: 10.3389/fvets.2022.906084.

<sup>63</sup> Wang F., Zhang J. Heat stress response to national-committed emission reductions under the Paris agreement. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health.* 2019. 16 (12). P. 2202. DOI:10.3390/ijerph16122202.

<sup>64</sup> El – Kholy M. S., El – Hindawy M. M., Alagawany M., Abd El –Hack M. E., El –Sayed S. A. Use of acetylsalicylic acid as an allostatic modulator in the diets of growing Japanese quails exposed to heat stress. *J Therm Biol.* 2018. 74. P. 6 – 13. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.02.011.

<sup>65</sup> Kang S., Da-Hye Kim., Lee S., Lee T., Kyung-Woo L., Hong-Hee C., Moon B., Ayasan T., Choi Y. H. An acute, rather than progressive, increase in temperature-humidity index has severe effects on mortality in laying hens. *Front. Vet. Sci.* 2020.7. DOI: 10.3389/fvets.2020.568093.

<sup>66</sup> Saracila M., Panaite T., Tabuc C., Soica C., Untea A., Ayasan T., Criste R. D. Dietary ascorbic acid and chromium supplementation for broilers reared under thermoneutral conditions vs. high heat stress. *Sci Paper-Anim Sci Series: Lucrări Științifice – Seria Zootehnie.* 2023. 73. P. 41 – 47 DOI: 10.3390/agriculture13030698.



навколишнє середовище. Існує дав види теплового стресу: хронічний і гострий<sup>67,68,69</sup>.

Хронічний тепловий стрес виникає внаслідок високих температур довкілля протягом тривалого періоду. Гострий тепловий стрес виникає внаслідок швидкого зростання температури навколишнього середовища протягом короткого періоду і має багато негативних фізіологічних наслідків для організму кролика. При гострому тепловому стресі підвищується температура тіла та прямої кишки, зменшується споживання корму, порушується імунна, репродуктивна, ендокринна функції, змінюється електролітний баланс та рН крові<sup>70</sup>. Тепловий стрес призводить до зниження продуктивності та збільшення смертності тварин, що впливає на рентабельність утримання кролів.

Кролі – гомеотермні тварини. Вони здатні регулювати температуру тіла у вузькому діапазоні та є чутливими до теплового стресу<sup>71,72</sup>. Термонеутральна зона для кролів становить від 18 до 21°C. При підвищенні температурі навколишнього середовища, яка є вищою термонеутральної зони у кролів, активується гіпоталамо-гіпофізарно-надниркова система. Синтез і секреція гіпоталамічного адренокортикотропного рилізінг-гормону значно посилюється. Рилізінг-гормон впливає на передню долю гіпофізу, щоб викликати вивільнення адренокортикотропного гормону, що діє на надниркові залози, щоб сприяти синтезу та секретії глюкокортикоїдів. Глюкокортикоїди забезпечують функцію антиімунної відповіді<sup>73</sup>. Збільшення глюкокортикоїдів пригнічує клітинний і гуморальний імунітет, синтез

---

<sup>67</sup> Alagawany M., Farag M. R., Abd El-Hack M. E., Patra A. Heat stress: effects on productive and reproductive performance of quail. *World's Poult Sci J.* 2017. 73(4). P. 747 – 756. DOI: 10.1017/S0043933917000782.

<sup>68</sup> El-Kholy M. S., El-Hindawy M. M., Alagawany M., Abd El-Hack M. E., El El-Sayed S. A. A. Dietary supplementation of chromium can alleviate negative impacts of heat stress on performance, carcass yield, and some blood hematology and chemistry indices of growing Japanese quail. *Biol Trace Element Res.* 2017.179 (1). P. 148 – 157. DOI: 10.1007/s12011-017-0936-z.

<sup>69</sup> Farghly M. F., Abd El-Hack M. E., Alagawany M., Saadeldin I. M., Swelum A. A. Ameliorating deleterious effects of heat stress on growing Muscovy ducklings using feed withdrawal and cold water. *Poult Sci.* 2018.98 (1). P. 251 –259. DOI: 10.3382/ps/pey396.

<sup>70</sup> Loyau T., Bedrani L., Berri C., Métayer-Coustard S., Praud C., Coustham V. Cyclic variations in incubation conditions induce adaptive responses to later heat exposure in chickens: a review. *Animal.* 2015. 9. P. 76 – 85. DOI: 10.1017/S1751731114001931.

<sup>71</sup> Marai I. F. M., Ayyat M. S., Abd El-Monem, U. M. Growth performance and reproductive traits at first parity of New Zealand White female rabbits as affected by heat stress and its alleviation under Egyptian conditions. *Trop Anim Health Prod.* 2001. 33 (6). P. 51 – 62. DOI: 10.1023/a:1012772311177.

<sup>72</sup> Szendrő Z., Papp Z., Kustos K. Effect of ambient temperature and restricted feeding on the production of rabbit does and their kits. *Acta Agraria Kaposvariensis.*2018. 22. P. 1 – 17. DOI:10.31914/aak.2272.

<sup>73</sup> Bellavance M. A., Rivest S. The HPA – immune axis and the immunomodulatory actions of glucocorticoids in the brain. *Front Immunol.* 2014. 5 (136). P. 136. DOI: 10.3389/fimmu.2014.00136.

протеїну в лімфоїдній тканині та імунних органах, що призводить до значного зниження загальної імунної функції. Дослідженнями встановлено температурно-вологісний індекс, для кролів, де значення температури: < 27,8°C – відсутність теплового стресу, 27,8 – 28,9°C – помірний тепловий стрес, 29,0 – 30,0°C – сильний тепловий стрес, > 30,0°C – дуже сильний тепловий стрес<sup>74</sup>.

Постійний вплив екстремальних температур на організм кролів призводить до порушення гомеостатичних механізмів, та як наслідок ураження тканини окремих органів. Висока температура довкілля призводить до зниження секреції гормонів щитоподібної залози (трийодтиронін, тироксин), впливає на синтез протеїну (загального протеїну крові, альбумінів та глобулінів), викликає порушення обміну вуглеводів, ліпідів, окисного балансу та мінеральних речовин у кролів<sup>75,76,77</sup>. Зменшення споживання корму призводить до меншої кількості надходження поживних речовин, зниження маси тіла, інтенсивності росту. Встановлено, що тепловий стрес спричиняє зниження добового приросту маси тіла на 20 – 25 %, коефіцієнта конверсії корму на 8 – 15 %, збільшення загибелі кролів на 9 – 12 % та зниження відтворювальної функції на 6 – 10 %, а також негативно впливає на якість м'яса<sup>78,79,80</sup>. Підвищена температура навколишнього середовища призводить до порушень антиоксидантного захисту, зменшення відкладень жиру та білка, інтенсивності росту та

---

<sup>74</sup> Marai I. F. M., Habeeb A. A. M., Gad A. E. Rabbit's productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. *Livest Prod Sci.* 2002. 78. P. 71 – 90. DOI: 10.1016/S0301-6226(02)00091-X.

<sup>75</sup> Abdel-Hamid T. M., El-Tarabany M. S. Effect of bee pollen on growth performance, carcass traits, blood parameters, and the levels of metabolic hormones in New Zealand White and Rex rabbits. *Trop Anim Health Prod.* 2019. 51 (8). P. 2421 – 2429. DOI:10.1007/s11250-019-01961-8.

<sup>76</sup> Harkness J. E., Turner P. V., VandeWoude S., Wheler C. L. Haematology, clinical chemistry, and urinalysis. In: *Biology and medicine of rabbits and rodents.* 2012. P. 116 – 131. DOI: 10.1016/B978-0-12-380920-9.00003-1.

<sup>77</sup> Kenessey A., Ojamaa K. Thyroid hormone stimulates protein synthesis in the cardiomyocyte by activating the Akt-mTOR and p70S6K pathways. *J Biol Chem.* 2006.281. P. 66 – 72. DOI:10.1074/jbc.M512671200.

<sup>78</sup> Marai I. F. M., Haebe A. A. M., Gad A. E. Biological functions in young pregnant rabbit does as affected by heat stress and lighting regime under subtropical conditions of Egypt. *Trop Subtrop Agroecosyst.* 2007. 7 (3). P.165 – 176.

<sup>79</sup> Song Z., Zhao G., Zhang Y. The effect of heat stress on rabbits and its nutrition regulation. *Feed Res.* 2006. 7. P. 19 – 22. DOI: 10.3969/j.issn.1001-0084.2006.07.007.

<sup>80</sup> Yan Y., Li M. *Feeding Management Technology of Breeding Rabbit in Hot Climate. Qingdao Kanada Food Company Limited Kanada Group.* 2008. P. 25 – 27. Available online at: <http://hostcambodia.com/mekarn/prorab/yan.htm>.

розмноження, знижує виробництво м'яса та шерсті у кроликів<sup>81,82,83,84</sup>. За високих температур навколишнього середовища у передній долі гіпофіза знижується синтез гіпоталамічно-тиреотропного гормону, що призводить до меншої секреції гормону щитоподібної залози у кролів<sup>85</sup>.

Тепловий стрес збільшує утворення активних форм кисню (АФК) і створює окисно-відновний дисбаланс<sup>86</sup>. Термін «оксидативний стрес» використовується для опису стану, при якому в клітинах і тканинах організму порушується баланс між синтезом і детоксикацією<sup>87</sup>. Вільні радикали утворюються в клітинах, приймаючи або втрачаючи один електрон, що робить їх високореактивними через наявність неспарених електронів. Виробництво АФК аеробними клітинами сприяє процесу старіння та супутнім захворюванням<sup>88</sup>.

Репродуктивна функція кролів впливає на економічну доцільність кролівництва<sup>89</sup>. Оптимальна температура для розмноження кролів коливається від 15 до 20°C. Якщо температура навколишнього середовища перевищує цей діапазон, кролики схильні до теплового стресу та хвороб, що негативно впливає на їх репродуктивну здатність<sup>90</sup>. Встановлено негативний вплив теплового стресу на ембріогенез.

---

<sup>81</sup> Ayyat M. S., Al-Sagheer A. A., Abd El-Latif K. M. Organic selenium, probiotics, and prebiotics effects on growth, blood biochemistry, and carcass traits of growing rabbits during summer and winter seasons. *Biol Trace Elem Res.* 2018. 186 (1). P. 162 – 73. DOI: 10.1007/s12011-018-1293-2.

<sup>82</sup> Jimoh O. A., Ewuola E. O., Balogun, A. S. Маркери окисного стресу в екзотичних породах кроликів під час піку теплового стресу в Ібудані. *Nig J Adv Biol Biotechn.* 2017. 12. P. 1 – 9.

<sup>83</sup> Jimoh O. A., Oyeyemi B. F., Oyeyemi W. A. Soursop juice enhanced seminal antioxidant defence and semen quality of rabbit bucks in extremely dry climatic condition of Southwestern Nigeria. *J Therm Biol.* 2021. 8. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2021.103034.

<sup>84</sup> Yang L. P., Gao S. X., Bai L. Y., Zhang X. L., Sun H. T., Wang W. Z., et al. Comparative study on hair production performance of long-haired rabbits in different seasons. *China Rabbit Rais.* 2016. 5. P. 4 – 6. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6327.2016.05.001.

<sup>85</sup> Garcia M. L., Argente M. J. Exposure to high ambient temperatures alters embryology in rabbits. *Int J Biometeorol.* 2017. 61. P. 1555 – 1560. DOI: 10.1007/s00484-017-1334-0.

<sup>86</sup> Shahnawaz Kumbhar, Alam Z Khan, Fahmida Parveen, Zaheer A Nizamani, Farman A Siyal, Mohamed E Abd El-Hack, Fang Gan, Yunhuan Liu, Muhammad Hamid, Sonia A Nido, Kehe Huang. Impacts of selenium and vitamin E supplementation on mRNA of heat shock proteins, selenoproteins and antioxidants in broilers exposed to high temperature. *AMB Express.* 2018. 8. P. 112. DOI: 10.1186/s13568-018-0641-0.

<sup>87</sup> Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., et al. Oxidative stress: harms and benefits for human health. *Oxid Med Cell.* 2017. DOI: 10.1155/2017/8416763.

<sup>88</sup> Phaniendra A., Jestadi D. B., Periyasamy L. Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian J Clin Biochem.* 2015.30 (1). P. 11 – 26. DOI: 10.1007/s12291-014-0446-0.

<sup>89</sup> Omeje V. I. Effect of Dietary Supplementation of Organic Selenium at Different Levels on Reproductive Performance of Rabbit Does. *Front Vet Sci.* 2016. P. 5. DOI: 10.3389/fvets.2020.00290.

<sup>90</sup> Marco-Jiménez F., García-Diego F. J., Vicente J. S. Effect of gestational and lactational exposure to heat stress on performance in rabbits. *World Rabbit Sci.* 2017. 25. P. 17 – 25. DOI: 10.4995/wrs.2017.5728.

Дослідники виявили, що тепловий стрес призводить до зниження швидкості овуляції та розвитку ембріона у кролематок. Висока температура доквілля значно знижує секрецію естрогену та спричиняє нерегулярну половоюліцію, що може викликати аномальну морфологію яйцеклітин. Наприклад, скорочення цитоплазми та розрив прозорої мембрани, що робить яйцеклітини нездатними до запліднення та впливає на відтворну здатність кролиць. Вплив теплового стресу на кролів знижує гомеостаз і якість сперми, що призводить до тимчасової неплідності<sup>91 92</sup>. Об'єм еякуляту в молодих кроликів зменшується на 80 %, життєздатність сперми знижується на 75 %, а кількість сперматозоїдів на 1 мл сперми зменшується на 92 %. Під час теплового стресу на 51-денний цикл сперми і 8 – 13 днів зберігання сперми в придатку сім'яника<sup>93</sup>. Безплідність кролів під час теплового стресу триває від 45 до 70 днів, що є однією з причин ускладнень відтворення самців восени<sup>94</sup>. Тепловий стрес впливає на якість сперми через накопичення вільних радикалів у статевих залозах самців кроликів, що призводить до пошкодження антиоксидантної системи захисту організму<sup>95</sup>. При тепловому стресі порушується процес сперматогенезу та репродуктивної здатності кролів. Цілісність ДНК руйнується, що індукуює зміни конформації хроматину сперми та метилювання ДНК<sup>96</sup>.

#### **4. Особливості впливу нанополук мінеральних речовин на організм кролів за дії теплового стресу**

Економіка багатьох країн залежить від сільського господарства, а методи нанотехнології важливі для майбутнього тваринництва та корекції

---

<sup>91</sup> Durairajanayagam D., Agarwal A., Ong C. Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. *Reprod Biomed Online*. 2015. 30 (1). P. 14 – 27. DOI: 10.1016/j.rbmo.2014.09.018.

<sup>92</sup> El-Desoky N. I., Hashem N. M., Elkomy A., Abo-elezz Z. R. Physiological response and semen quality of rabbit bucks supplemented with Moringa leaves ethanolic extract during summer season. *Animal* 2017. 11. P. 1549 – 1557. DOI: 10.1017/S1751731117000088.

<sup>93</sup> El-Desoky N. I., Hashem N. M., Elkomy A., Abo-elezz Z. R. Physiological response and semen quality of rabbit bucks supplemented with Moringa leaves ethanolic extract during summer season. *Animal* 2017. 11. P. 1549 – 1557. DOI: 10.1017/S1751731117000088.

<sup>94</sup> Jie Z., Chao Y., Min L., Li T., Zhang X. Y., Xie, X. H. The effect of heat stress on the reproductive performance of rabbits and the research progress of related heat shock proteins. *Rabbit Rais China*. 2020. 235. P. 19 – 22. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6327.2020.01.005.

<sup>95</sup> Kuang L. D. Li. C. Y., Guo Z. Q., Ren Y. J., Zheng J., Mei X. L., et al. Effects of heat stress on reproductive performance, serum biochemical indexes and reproductive hormones in female rabbit of Qixing. *Southwest China J Agric Sci*. 2021. 34. 1323 – 1329. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2021.6.027.

<sup>96</sup> Zheng J., Xie X. H., Lei M., Tang L., Zhang X. Y., Yang C. Research progress on the effect of heat stress on the semen quality of male rabbits and its mechanism. *China Rabbit Rais*. 2018. 6. P. 24 DOI: 10.3969/j.issn.1005-6327.2018.06.008.

мінерального живлення<sup>97</sup>. Застосування високих доз мінеральних кормових добавок у вигляді неорганічних солей підвищує продуктивність тварин, але водночас через їх низьку біодоступність може забруднювати довкілля<sup>98</sup>. Наночастинки елементів можуть збільшити біодоступність мінеральних речовин для тварин<sup>99</sup>, завдяки нанорозміру, великій площі поверхні та фізичній реактивності<sup>100,101</sup>. Кормові добавки мікроелементів у формі наночастинок використовують для покращення продуктивних та відтворних показників сільськогосподарських тварин<sup>102</sup>.

Дослідженнями встановлено, що використання наночастинок оксиду цинку може пом'якшити несприятливий вплив теплового стресу на здоров'я тварин завдяки захисту клітин від АФК шляхом зниження рівня вільних радикалів та інгібування перекисного окиснення ліпідів. Цинк діє як антиоксидантний стресовий агент, пригнічуючи окиснення макромолекул ДНК і протеїну, а також пригнічуючи негативну реакцію, що призводить до зниження утворення активних форм кисню<sup>103</sup>. Застосування наночастинок оксиду цинку покращило характеристику сперми (об'єм сперми, рухливість сперми, життєздатність та морфологія) та концентрацію тестостерону. Наночастинки оксиду цинку можуть стимулювати клітини Лейдіга для синтезу тестостерону. Потреба в Цинку для кролів становить 30 – 170 мг/кг сухої речовини<sup>104</sup>. Наночастинки оксиду цинку можуть забезпечити кращий результат, ніж

---

<sup>97</sup> Sri Sindhura K., Selvam P. P., Prasad T. N. V. K. V., Hussain O. M. Synthesis, characterization and evaluation of effect of phyto-genic zinc nanoparticles on soil exo-enzymes. *Appl Nanosci.* 2014. 4 (7). P. 819 – 827. DOI: 10.1007/s13204-013-0263-4.

<sup>98</sup> Izabela Michalak, Katarzyna Dziergowska, Mahmoud Alagawany, Mayada, R., Farag, Nahed, A., El-Shall, Hardeep Singh Tuli, Talha Bin Emran Kuldeep Dhama. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production of livestock animals and poultry. *Veterinary Quarterly.* 2022. 42 (1). P. 68 – 94. DOI: 10.1080/01652176.2022.2073399.

<sup>99</sup> Hidayat C., Sumiati S., Jayanegara A., Wina E. Supplementation of dietary nano Zn-phyto-genic on performance, antioxidant activity, and population of intestinal pathogenic bacteria in broiler chicken. *Trop Anim Sci J.* 2021.44 (1). P. 90 – 99. DOI: 10.5398/tasj.2021.44.1.90.

<sup>100</sup> Ouyang Z., Ren P., Zheng D., Huang L., Wei T., Yang C., Kong X., Yin Y., He S., He Q. Hydrothermal synthesis of a new porous zinc oxide and its antimicrobial evaluation in weanling piglets. *Livestock Sci.* 2021. 248. P. 104. DOI:10.1016/j.livsci.2021.104499.

<sup>101</sup> Scott A., Vadalasetty K. P., Chwalibog A., Sawosz E. Copper nanoparticles as an alternative feed additive in poultry diet: a review. *Nanotechnol Rev.* 2017. 7(1). P. 69 – 93. DOI:10.1515/ntrev-2017-0159.

<sup>102</sup> Tsai Y. H., Mao S. Y., Li M. Z., Huang J. T., Lien T. F. Effects of nanosize zinc oxide on zinc retention, eggshell quality, immune response and serum parameters of aged laying hens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2016. 213.P. 99 – 107. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2016.01.009.

<sup>103</sup> Prasad A. S., Bao B. Review, Molecular Mechanisms of Zinc as a Pro-Antioxidant Mediator: Clinical Therapeutic Implications. *Antioxidants.* 2019. 8. P. 164. DOI: 10.3390/antiox8060164.

<sup>104</sup> Chrastinová E., Čobanová K., Chrenková M., Poláčiková M., Formelová Z., Lauková, A., Ondruška, L., Simonová, P.M., Stropňová, V., Mlyneková, Z., et al. Effect of dietary zinc supplementation on nutrients digestibility and fermentation characteristics of caecal content in physiological experiment with young rabbits. *Slovak J. Anim. Sci.* 2016. 49. P. 23 – 31.

звичайні джерела Zn, а також запобігати забрудненню навколишнього середовища<sup>105,106</sup>.

Додавання біосинтезованого наноселену до корму підвищило масу тіла та середньодобовий приріст кролів в умовах теплового стресу і відіграло важливе значення для антиоксидантної та імунної функції організму кролів. Додавання біосинтезованого наноселену у кількості 25 та 50 мкг/кг маси корму підвищувало масу тіла та середньодобовий приріст кролів в умовах теплового стресу<sup>107</sup>. Селен є важливим для функції імунної системи, особливо під час несприятливих стресових чинників навколишнього середовища. Бере участь у багатьох ключових фізіологічних процесах, таких як розмноження, імунітет і ріст та є важливим елементом для тварин<sup>108</sup>. Селен виконує свої біологічні функції головним чином через селенопротеїни<sup>109</sup>. Він є невід’ємним компонентом щонайменше 25 селенопротеїнів і виступає в якості важливого кофактора в системі антиоксидантних ензимів. Споживання Se впливає на антиоксидантний захист, репродуктивну функцію, гормональний метаболізм та імунну систему тварини<sup>110,111,112</sup>.

---

<sup>105</sup> Swain P. S., Somu B. N. Rao., Duraisamy Rajendran, George Dominic, Sellappan Selvaraju. Nano zinc, an alternative to conventional zinc as animal feed supplement: A review. *Animal Nutrition*. 2016. P. 134 – 141. DOI: 10.1016/j.aninu.2016.06.003.

<sup>106</sup> Swain P. S., Rajendran D., Rao S.B.N., Dominic G. Preparation and effects of nano mineral particle feeding in livestock: a review. *Vet World*. 2015. 8 (7). P. 888 – 891. DOI: 10.14202/vetworld.2015.888-891.

<sup>107</sup> Sheiha A. M., Abdelnour S. A., Abd El-Hack M. E., Khafaga A. F., Metwally K. A., El-Saadony M. T. Effects of dietary biological or chemicalsynthesized nano-selenium supplementation on growing rabbits exposed to thermal stress. *Animals*. 2020.10 (3). P. 43. DOI:10.3390/ani10030430.

<sup>108</sup> Qazi I.H., Angel C., Yang H., Zoidis E., Pan B., Wu Z., et al. Role of selenium and selenoproteins in male reproductive function: a review of past and present evidences. *Antioxidants*. 2019. 8. P. 268 – 304. DOI: 10.3390/antiox8080268.

<sup>109</sup> Jang I. S., Ko Y. H., Moon Y. S., Sohn S. H. Effects of vitamin C or E on the pro-inflammatory cytokines, heat shock protein 70 and antioxidant status in broiler chicks under summer conditions. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2014. 27 (5). P. 749 – 756. DOI: 10.5713/ajas.2013.13852.

<sup>110</sup> Cardoso B. R., Roberts B. R., Bush A. I., Hare D. J. Selenium, selenoproteins and neurodegenerative diseases. *Metallomics* 2015. 7 (8). P. 1213 – 1228. DOI: 10.1039/c5mt00075k.

<sup>111</sup> Li M., Zhang Y., Li S. Effects of selenium deficiency on testis development and autophagy in chicks. *Ital. J. Anim. Sci.* 2020. 19 (1). P. 753 – 761. DOI:10.1080/1828051X.2020.1786739.

<sup>112</sup> Zoidis E., Seremelis I., Kontopoulos N., Danezis G. P. Selenium-dependent antioxidant enzymes: Actions and properties of selenoproteins. A review. *Antioxidants*. 2018 7 (5). P. 66. DOI: 10.3390/antiox7050066.

Молочнокислий цитрат германію гальмує перекисне окиснення ліпідів та посилює імунну функцію як «імуностимулятор»<sup>113,114,115</sup>. Випоювання у раціоні кролів хрому цитрату підвищує гемопоетичну функцію та зменшує вміст продуктів перекисного окиснення ліпідів. Хром запобігає перекисному окисненню ліпідів, спричиненого тепловим стресом, завдяки активному антиоксидантному впливу<sup>116,117</sup>. Він покращує дію інсуліну та метаболізм поживних речовин (ліпідів, протеїнів, нуклеїнових кислот і вуглеводів) шляхом активації ензимів.

Встановлено, що додавання наночастинок Купруму з розрахунку 50 мг/кг раціону підвищило масу тіла кролів на 4,6 % у порівнянні з групою без добавок. Наночастинок Купруму, додані до раціону кролів, покращують коефіцієнт конверсії корму, індекс продуктивності, збільшують активність супероксиддисмутази, покращують різноманітність кишкової мікрофлори<sup>118</sup>. Встановлено що кролі, яких годували раціоном з додатковим уведенням нанокупруму, підвищило економічну ефективність виробництва м'яса порівняно з іншими тваринами, яких годували раціоном, що містив солі Купруму<sup>119</sup>.

Встановлено, що застосування наночастинок срібла у раціоні кролів у кількості 0,5 мг/кг маси тіла знижує загальний рівень холестеролу і триацилгліцеролів<sup>120</sup>. Випоювання сульфур цитрату в кількості 8 мкг S/кг маси тіла, для кролиць за 14 днів до осіменіння та до 20 днів

---

<sup>113</sup> Abdulrashid M., Juniper D. T. Effect of dietary protein, selenium and temperature humidity index on reproductive traits of male rabbits in a tropical environment. *J Ani Prod Res.* 2016. 28. P. 61 – 75.

<sup>114</sup> Li L. J., Ruan T., Lyu Y. and Wu B. Y. Advances in Effect of Germanium or Germanium Compounds on Animals—A Review. *Journal of Biosciences and Medicines.* 2017. 5. P. 56 – 73. DOI: 10.4236/jbm.2017.57006.

<sup>115</sup> Zheng H. P. Physiological Function of Organic Germanium and Its Application in Food. *Studies of Trace Elements and Health.* 2011. 28. P. 65 – 67.

<sup>116</sup> Лесик Я. В., Федорук Р. С., Кропивка С. Й. Гематологічні показники та антиоксидантний статус організму кролів за випоювання цитрату і хлориду хрому. *Біологія тварин.* 2013. 15 (3). С. 54 – 62

<sup>117</sup> May Bin-Jumah. M. E., Abd El-Hack, Abdelnour S. A., et al., Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review, *Science of the Total Environment* 2019. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.135996.

<sup>118</sup> Refaie Amira M., Mervat N Ghazal., Fadila M Easa., Safaa A Barakat, Morsy W.A., Younan G. E, Eisa W.H. Nano-copper as a new growth promoter in the diet of growing New Zealand White rabbits. *Egyptian Journal of Rabbit Science.* 2015. 25 (1). P. 39 – 57. DOI:10.21608/ejrs.2015.46697.

<sup>119</sup> Abd-El Ghany Fatma T. F., Zawrah M. F. and Mohamed M. Y. Influence of some trace minerals in form of normal and nano particles as feed supplementation on growing rabbit diets. *Egypt. J. Nutr. and Feeds.* 2016. 19 (3). P. 497 – 509.

<sup>120</sup> Abdelsalam M., Al-Homidan I., Ebeid T., Abou-Emera O., Mostafa M., Abd El-Razik, M., Shehab-El-Deen M., Abdel Ghani S., Fathi M. Effect of silver nanoparticle administration on productive performance, blood parameters, antioxidative status, and silver residues in growing rabbits under hot climate. *Animals.* 2019. 9 (10). P. 845. DOI:10.3390/ani9100845.

лактації показали більшу масу гнізда та одного кроленяти на 20 та 40 день від народження та вищі показники збереження на 6,4 % на 40 день життя<sup>121,122</sup>.

Отже, аналізом джерел літератури відзначено, що фізіологічно-обґрунтована кількість органічних та неорганічних сполук мінеральних речовин в організмі кролів є необхідною для забезпечення здоров'я та нормального росту й розвитку їхнього організму за умов промислового ведення та дії теплового стресу.

## **ВИСНОВКИ**

Мінеральні речовини є необхідними у забезпеченні повноцінного функціонування організму кролів, оскільки є компонентами багатьох фізіологічних процесів. Недостатнє або надлишкове споживання мікро-і макроелементів є причиною різних захворювань тварин. Фізіологічно обґрунтована кількість мінеральних речовин в організмі необхідна для формування скелету, регулювання метаболізму, функціонування нервової системи, м'язів та інших органів кролів у постнатальний період розвитку.

Дослідженнями встановлено негативний вплив теплового стресу на фізіологічні процеси в організмі кролів, що в свою чергу спричиняє економічні збитки та низькорентабельне їх утримання. Наночастинки мікроелементів знижують рівень окисного стресу в організмі та відтворюють здатність кролів. Застосування наночастинок мінеральних речовин для корекції мінерального живлення кролів, сприяє нормалізації фізіологічних функцій їхнього організму за дії теплового стресу.

Отже, аналізом літературних джерел щодо біологічних особливостей розвитку системи травлення кролів, впливу й потреби мінеральних речовин для організму кролів за умов інтенсивного росту й розвитку та у період дії теплового стресу показано необхідність застосування фізіологічно обґрунтованих їх кількостей.

## **АНОТАЦІЯ**

У статті наведено дані щодо біологічних особливостей та значення мінеральних речовин для організму й живлення кролів. Охарактеризовано анатоμο-фізіологічні особливості травної системи кролів. Проведено аналіз літературних джерел з вивчення проблеми теплового стресу в промисловому кролівництві. З'ясовано особливості дії теплового стресу на фізіологічні параметри організму тварин.

---

<sup>121</sup> Дичок А. З., Лесик Я. В., Цап М. М. Резистентність організму кролів за дії сполук сульфору. *Біологія тварин*. 2018. 20 (3). С. 16 – 24.

<sup>122</sup> Lesyk Ya., Dychok-Nidzelska A., Boiko O., Bachenko M., Honchar O. Reproductive Ability of Doe-Rabbits and Growth and Preservation of the Offspring by Feeding Sulfur Compounds. *Scientific Horizons*. 2021. 24 (8). P. 9 – 14. DOI: 10.48077/scihor.



Описано особливості дії різних кількостей та наносполук мінеральних речовин на організм кролів. Висвітлено перспективу застосування наносполук мінеральних елементів у промисловому кролівництві.

### Література

1. Chipo M. M., Mango L., Kugedera A. T., Lovemore M. Challenges and opportunities to rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) production and marketing. *Int J Agric Agribus.* 2019. 5. P. 37 – 44.
2. Corino C., Modina S., Di Giancamillo A., Chiapparini S., Rossi, R. Seaweeds in pig nutrition. *Animals.* 2019. 9 (12). P. 11 – 26. DOI: 10.3390/ani9121126.
3. Haque A., Rahman M., Bora J. Effect of breed, weaning age and feeding regime on chemical composition of rabbit meat. *Int J Vet Sci Anim Husb.* 2016. 1 (1). P. 12 – 13.
4. Lesyk Y. V., Dychok-Niedzielska A. Z., Boiko O. V., Honchar O. F., Bashchenko M. I., Kovalchuk I. I., Gutyj, B. V. Hematological and biochemical parameters and resistance of the organism rabbits for feeding sulfur compounds. *Regulatory Mechanisms in Biosystems.* 2022. 13 (1). P. 60 – 66.
5. Lesyk Ya., Dychok A. Prospects of using sulfur in the rabbits feeding. 13 Human health: realities and prospects. Health and nutrition. Monographic series, 3; edited by Nadiya Skotna, Drohobych: Posvit. 2018. P. 130 – 142.
6. Башченко М. І., Бойко О. В., Гончар О. Ф. Концепції розвитку кролівництва в Україні у повоєнний період. Черкаська дослідна станція біоресурсів НААН. 2022. С. 4, 8.
7. Abd El-Hack M. E., Mahrose K. M., Arif M., Chaudhry M. T., Saadeldin I. M., Saeed M., Soomro R. N., Abbasi I. H. R., Rehman Z. U. Alleviating the environmental heat burden on laying hens by feeding on diet s enriched with certain antioxidants (vitamin E and selenium) individually or combined. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2017. 24. P. 10708 – 10717. DOI: 10.1007/s11356-017-8690-5.
8. Cullere M., Zotte A. D., Tasoniero G., Giaccone V., Szendrő, Z., Szin M., Odermatt D., Gerencser Z., Dal Bosco A., Matics Z. Effect of diet and packaging system on the microbial status, pH, color and sensory traits of rabbit meat evaluated during chilled storage. *Meat Sci.* 2018. 141. P. 36 – 43. DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.03.014.
9. Dalle Zotte A. Rabbit farming for meat purposes. *Anim Front.* 2014. 4. P. 62 – 67.
10. El-Medany S. A., El-Refaei W. H. M. Evaluation canola meal on growing rabbits; nutritionally and on their nutritional meat quality. *J Food Nut Res.* 2015.3 (4). P. 220 – 234. DOI: 10.12691/jfnr-3-4-

11. Pogány Simonová, M., Chrastinová L., Lauková A. Enterocin 7420 and Sage in Rabbit Diet and Their Effect on Meat Mineral Content and Physico-Chemical Properties. *Microorganisms*. 2022. 10(6). P. 10. DOI: 10.3390/microorganisms10061094.
12. Tufarelli V., Tateo A., Schiavitto M., Mazzei D., Calzaretti G., Laudadio V. Evaluating productive performance, meat quality and oxidation products of Italian White breed rabbits under free-range and cage rearing system. *Anim. Biosci*. 2022. 35. P. 884 – 889. DOI: 10.5713/ab.21.0327.
13. Alves dos Santos J. J., Fonseca Pascoal L. A., Brandão Grisi C. V., da Costa Santos V., de Santana Neto D. C., Filho, J. J., Ferreira Herminio M. P., Fabricio Dantas, A. Soybean oil and selenium yeast levels in the diet of rabbits on performance, fatty acid profile, enzyme activity and oxidative stability of meat. *Livest. Sci*. 2022. P. 263. DOI: 10.1016/j.livsci.2022.105021.
14. Luo G., Zhu T., Ren Z. METTL3 Regulated the Meat Quality of Rex Rabbits by Controlling PCK2 Expression via a YTHDF2–N6–Methyladenosine Axis. *Foods*. 2022. (11). P. 1549. DOI: 10.3390/foods11111549.
15. Pedro D., Saldana E., Lorenzo J. M., Pateiro M., Dominguez R., Dos Santos, A. B., Campagnol C. B. P. Low-sodium dry-cured rabbit leg: A novel meat product with healthier properties. *Meat Sci*. 2021. 173. P. 108 – 372. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108372.
16. Shahida Anusha Siddiqui, Francesca Gerini, Ali Ikram, Farhan Saeed, Xi Feng, Yanping Chen. *Sustainability*. 2023. 15 (3). DOI:10.3390/su15032008.
17. Szabó-Szentgróti E., Szigeti O. Consumers. Attitude to Consumption of Rabbit Meat in Eight Countries Depending on the Production Method and Its Purchase Form. *Foods*. 2020. 9 (5). P. 654. DOI:10.3390/foods9050654.
18. Hernández P. Carne de conejo, ideal para dietasbajas en ácidoúrico. Revista Científica de Nutrición. N° 8 Septiembre. *Boletín de cunicultura*. 2007. 154. P. 33 – 36.
19. Hernández P., Dalle Zotte A. Influence of diet on rabbit meat quality. In: de Blas C, Wiseman J (eds) The nutrition of the rabbit. *CABI-Publishing, Oxon*. 2010. P. 163 – 178.
20. Carlos de Blas, Wiseman J. Nutrition of the Rabbit. 3rd Edition. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 2020. P. 370.
21. Luciano Pinotti, Michele Manoni, Luca Ferrari, Marco Tretola, Roberta Cazzola, Ian Givens The Contribution of Dietary Magnesium in Farm Animals and Human Nutrition. *Nutrients*. 2021. 13 (2). P. 509. DOI: 10.3390/nu13020509.

22. Лесик Я. В., Федорук Р. П., Кирилів Я. І., Дубинка І. А. Технологія виробництва продукції кролівництва: науково – практичний посібник. Львів. 2013. С. 54.

23. Mattioli S., Dal Bosco A., Duarte J. M. M., D'Amato R., Castellini C., Beone G. M., Fontanella M. C., Beghelli D., Regni L., Businelli D., et al. Use of Selenium-enriched olive leaves in the feed of growing rabbits: Effect on oxidative status, mineral profile and Selenium speciation of Longissimus dorsi meat. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2019. 51. P. 98 – 105. DOI: 10.1016/j.jtemb.2018.10.004.

24. Башченко М. І., Гончар О. Ф., Шевченко Є. А. Кролівництво: Монографія. Черкаси. Черкаський інститут АПВ. 2011. С. 35, 37, 82, 83.

25. Федак Н. М. Мінеральні речовини в годівлі сільськогосподарських тварин. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2012. Вип. 54. С. 128 – 135.

26. Simonová M. P., Chrastinová L., Chrenková M., Formelová Z., Kandřáková A., Bino E., Lauková A. Benefits of enterocin M and sage combination on the physico-chemical traits, fatty acid, amino acid, and mineral content of rabbit meat. *Probiotics Antimicro.* 2020. 12. P 1235 – 1245. DOI: 10.1007/s12602-019-09627-5.

27. Wang Y., Jiang M., Zhang Z., Sun H. Effects of over-load iron on nutrient digestibility, haemato-biochemistry, rumen fermentation and bacterial communities in sheep. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2020. 104. P. 32 – 43. DOI:10.1111/jpn.132255.

28. Wessling-Resnick M. Iron. Basic nutritional aspects. In *Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals*. 2017. P. 161 – 173. DOI: 10.1016/B978-0-12-802168-2.00014-2.

29. Mohammad Asadi, Abdolhakim Toghdory, Maryam Hatami, Jalil Ghassemi Nejad. Milk Supplemented with Organic Iron Improves Performance, Blood Hematology, Iron Metabolism Parameters, Biochemical and Immunological Parameters in Suckling Dalagh Lambs. *Animals*. 2022. 12 (4). P. 510. DOI: 10.3390/ani12040510.

30. Деркач Є. А., Шепельова І. А., Моторнюк А. В., Мельникова Н. М. Вплив наноаквахелатів і макродисперсної форми купруму на концентрацію церулоплазміну в крові кролів. *Біологія тварин*. 2012. 14 (1 – 2). С. 80 – 84.

31. Manto M. Abnormal copper homeostasis: mechanisms and roles in neurodegeneration. *Toxics*. 2014. 2 (2). P. 327 – 345. DOI: 10.3390/toxics2020327.

32. Chasapis C. T., Ntoupa P. A., Spiliopoulou C. A., Stefanidou, M. E. Recent aspects of the effects of zinc on human health. *Arch. Toxicol.* 2020. 94. P. 1443 – 1460. DOI: 10.1007/s00204-020-02702-9.

33. Mateos G. G., Garia-Rebollar P. de Blas C. Minerals, vitamins and additives. In *Nutrition of the Rabbits*, 3rd ed. 2020. P. 126 – 133. DOI:10.3390/ani11030756.
34. Zhao C. Y., Tan S. X., Xiao X. Y., Qiu X. S., Pan J. Q., Tang Z. X. Effects of dietary zinc oxide nanoparticles on growth performance and antioxidative status in broilers. *Biol Trace Elem Res*. 2014.160. P. 1 – 7. DOI:10.1007/s12011-014-0052-2.
35. May Bin-Jumah, Mohamed E Abd El-Hack, Sameh A Abdelnour, Yasmeen A Hendy et. al Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. *Sci Total Environ*. 2020. 707. P. 135996 – 135996. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135996.
36. Mahmood Y. Bilal1, Svetlana Dambaeva, Joanne Kwak-Kim, Alice Gilman-Sachs, Kenneth D Beaman. A Role for Iodide and Thyroglobulin in Modulating the Function of Human Immune Cells. 2017. 8. DOI: 10.3389/fimmu.2017.01573.
37. Rashmi Mullur, Yan-Yun Liu, Gregory A. Brent. Thyroid Hormone Regulation of Metabolism. *Physiol Rev*. 2014. 94 (2). P. 355 – 382. DOI:10.1152/physrev.00030.2013.
38. Zimmermann M. B. Iodine deficiency. *Endocr. Rev*. 2009. 30. P. 376 – 408. DOI:10.1210/er.2009-0011.
39. El-Kholy M. S., El-Hindawy M. M., Alagawany M., Abd El-Hack M. E, El-Sayed S.A. Use of acetylsalicylic acid as an allostatic modulator in the diets of growing Japanese quails exposed to heat stress. *J Therm Biol*. 2018.74. P. 6 – 13. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.02.011.
40. El-Kholy M. S., El-Hindawy M. M., Alagawany M., Abd El-Hack M. E, El-Sayed S.A. Use of acetylsalicylic acid as an allostatic modulator in the diets of growing Japanese quails exposed to heat stress. *J Therm Biol*. 2018.74. P. 6 – 13. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.02.011.
41. Vincent J. B. Is the pharmacological mode of action of chromium (III) as a second messenger. *Biol Trace Elem Res*. 2015. 166. P. 7 – 12. DOI: 10.1007/s12011-015-0231-9.
42. Huang C. B., Tang L., Guo Z. Q., Yan J. Y., Xie X. H., Lei, M. Effects of organic chromium on the production performance and immune function of heat-stressed rabbits. *Chin J Anim Husb*. 2017. 53. P. 93. DOI: 10.19556/j.0258-7033.2017-03-093.
43. Garreau H., Theau-Clement M. Anatomie, taxonomie, origine, évolution et domestication. in:Le lapin : de la biologie à l'élevage. *Quae Edition*. 2015. P. 1437. ISBN 978-2-84444-347-2.
44. Lebas F. Alimentation et santé digestive chez le lapin. Une journée de Formation organisée par l'ASFC et l'AFTAA. *Cuniculture*. 2006. 33. P. 63 – 70.

45. Suckow M., Stevens K., Wilson R. P. The Laboratory Rabbit, Guinea Pig, Hamster, and Other Rodents. *Academic Press, Amsterdam*. 2012. P. 157. ISBN 978-0-12-380920-9.1.
46. Gidenne T. Recent Advances in Rabbit Nutrition : Emphasis on Fibre Requirements. A Review. *World rabbit Sci*. 2000. 8. P. 23 – 32. DOI: 10.4995/wrs.2000.414.
47. Gidenne T. Physiologie. in: Le lapin : de la biologie à l'. *Quaepubl*. 2015. P. 33 – 76.
48. Gutiérrez I., A. Espinosa Garcia R. Carabano J. C. De Blas. Effects of starch and protein sources, heat processing and exogenous enzymes in starter diets for early-weaned rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol*. 2002. 98 (3). P. 175 – 186. DOI: 10.1016/S0377-8401(02)00028-7.
49. Jesse P., Goff. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J. Dairy Sci*. 2018. 101. P. 2763 – 2813. DOI: org/10.3168/jds.2017-13112.
50. Belenguer Á., Balcells J., Guada J. A., Decoux M., Milne, E. Protein Recycling in Growing Rabbits: Contribution of Microbial Lysine to Amino Acid Metabolism. *Br. J. Nutr*. 2005. 94 (5). P. 763 – 770. DOI: 10.1079/bjn20051508.
51. Liu Q.-S., Li J.-Y., Wang D.-H. Ultradian Rhythms and the Nutritional Importance of Caecotrophy in Captive Brandt's Voles (*Lasiopodomys Brandtii*). *J. Comp. Physiol. B*. 2007. 177. P. 423 – 432. DOI: 10.1007/s00360-006-0141-4.
52. Abecia L., Balcells J., Fondevila M., Belenguer A., Holtrop G., Lobley G. E. Contribution of Gut Microbial Lysine to Liver and Milk Amino Acids in Lactating Does. *Br. J. Nutr*. 2008. 100. P. 977 – 983. DOI: 10.1017/S0007114508957986.
53. García A. I., De Bias J. C., Carabaño R. Effect of Type of Diet (Casein-based or Protein-free) and Caecotrophy on Ileal Endogenous Nitrogen and Amino Acid Flow in Rabbits. *Anim. Sci*. 2004. 79 (2). P. 231 – 240. DOI:10.1017/S1357729800090093.
54. Klaasen H. L. B. M., Koopman J. P., Scholten P. M., Van Den Brink M. E., Theeuwes A. G. M. Effect of Preventing Coprophagy on Colonisation by Segmented Filamentous Bacteria in the Small Bowel of Mice. *Microb. Ecol. Health Dis*. 2009. 3. P. 99 – 103. DOI: 10.3109/08910609009140123.
55. Kobayashi A., Tsuchida S., Ueda A., Yamada T., Murata K., Nakamura H., et al. Role of Coprophagy in the Cecal Microbiome Development of an Herbivorous Bird Japanese Rock Ptarmigan. *J. Veterinary Med. Sci*. 2019. 81.P. 1389 – 1399. DOI: 10.1292/jvms.19-0014.
56. Li R., Li X., Huang T., Wang Y., Xue M., Sun S., et al. Influence of Cecotrophy on Fat Metabolism Mediated by Caecal Microorganisms in New

Zealand White Rabbits. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2020. 104. P. 749 – 757. DOI: 10.1111/jpn.13309.

57. Tremaroli V., Bäckhed F. Functional Interactions between the Gut Microbiota and Host Metabolism. *Nature*. 2012. 489. P. 242 – 249. DOI: 10.1038/nature11552.

58. Ziętak M., Kovatcheva-Datchary P., Markiewicz L. H., Ståhlman M., Kozak L. P., Bäckhed F. Altered Microbiota Contributes to Reduced Diet-Induced Obesity upon Cold Exposure. *Cell Metab.* 2016. 23. P. 1216 – 1223. DOI: 10.1016/j.cmet.2016.05.001.

59. El-Badawi A. Y., El-Wardany I., Abd El-Moez S. I., et al. Impact of dietary *Moringa oleifera* leaves on intestinal pathogenic load and histological structure of growing rabbits raised under heat-stress conditions. *Anim Prod Sci.* 2017. 58 (10). P. 1901 – 1907. DOI: 10.1071/AN16540.

60. El-Badawi A. Y., El-Wardany I., Abd El-Moez S. I., et al. Impact of dietary *Moringa oleifera* leaves on intestinal pathogenic load and histological structure of growing rabbits raised under heat-stress conditions. *Anim Prod Sci.* 2017. 58 (10). P. 1901 – 1907. DOI: 10.1071/AN16540.

61. Oladimeji A.M., Johnson T.G., Metwally K., Farghly M., Mahrose K.M. Environmental heat stress in rabbits: implications and ameliorations. *Int J Biometeorol.* 2022. 66 (1). P. 1 – 11. DOI: 10.1007/s00484-021-02191-0.

62. Zi-Long Liang, Fan Chen, Sungkwon Park, Balamuralikrishnan Balasubramanian, Wen-Chao Liu. Impacts of Heat Stress on Rabbit Immune Function, Endocrine, Blood Biochemical Changes, Antioxidant Capacity and Production Performance, and the Potential Mitigation Strategies of Nutritional Intervention. *Front Vet Sci.* 2022. 9. DOI: 10.3389/fvets.2022.906084.

63. Wang F., Zhang J. Heat stress response to national-committed emission reductions under the Paris agreement. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health.* 2019. 16 (12). P. 2202. DOI:10.3390/ijerph16122202.

64. El – Kholy M. S., El – Hindawy M. M., Alagawany M., Abd El – Hack M. E., El – Sayed S. A. Use of acetylsalicylic acid as an allostatic modulator in the diets of growing Japanese quails exposed to heat stress. *J Therm Biol.* 2018. 74. P. 6 –13. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.02.011.

65. Kang S., Da-Hye Kim., Lee S., Lee T., Kyung-Woo L., Hong-Hee C., Moon B., Ayasan T., Choi Y. H. An acute, rather than progressive, increase in temperature-humidity index has severe effects on mortality in laying hens. *Front. Vet. Sci.* 2020.7. DOI: 10.3389/fvets.2020.568093.

66. Saracila M., Panaite T., Tabuc C., Soica C., Untea A., Ayasan T., Criste R. D. Dietary ascorbic acid and chromium supplementation for broilers reared under thermoneutral conditions vs. high heat stress. *Sci Paper-Anim Sci Series: Lucrări Științifice – Seria Zootehnie.* 2023. 73. P. 41 – 47 DOI: 10.3390/agriculture13030698.

67. Alagawany M., Farag M. R., Abd El-Hack M. E., Patra A. Heat stress: effects on productive and reproductive performance of quail. *World's Poult Sci J.* 2017. 73(4). P. 747 – 756. DOI: 10.1017/S0043933917000782.
68. El-Kholy M. S., El-Hindawy M. M., Alagawany M., Abd El-Hack M. E., El El-Sayed S. A. A. Dietary supplementation of chromium can alleviate negative impacts of heat stress on performance, carcass yield, and some blood hematology and chemistry indices of growing Japanese quail. *Biol Trace Element Res.* 2017.179 (1). P .148 – 157. DOI: 10.1007/s12011-017-0936-z.
69. Farghly M. F., Abd El-Hack M. E., Alagawany M., Saadeldin I. M., Swelum A. A. Ameliorating deleterious effects of heat stress on growing Muscovy ducklings using feed withdrawal and cold water. *Poult Sci.* 2018.98 (1). P. 251 –259. DOI: 10.3382/ps/pey396.
70. Loyau T., Bedrani L., Berri C., Métayer-Coustard S., Praud C., Coustham V. Cyclic variations in incubation conditions induce adaptive responses to later heat exposure in chickens: a review. *Animal.* 2015. 9. P. 76 – 85. DOI: 10.1017/S1751731114001931.
71. Marai I. F. M., Ayyat M. S., Abd El-Monem, U. M. Growth performance and reproductive traits at first parity of New Zealand White female rabbits as affected by heat stress and its alleviation under Egyptian conditions. *Trop Anim Health Prod.* 2001. 33 (6). P. 51 – 62. DOI: 10.1023/a:1012772311177.
72. Szendrő Z., Papp Z., Kustos K. Effect of ambient temperature and restricted feeding on the production of rabbit does and their kits. *Acta Agraria Kaposvariensis.*2018. 22. P. 1 – 17. DOI:10.31914/aak.2272.
73. Bellavance M. A., Rivest S. The HPA – immune axis and the immunomodulatory actions of glucocorticoids in the brain. *Front Immunol.* 2014. 5 (136). P. 136. DOI: 10.3389/fimmu.2014.00136.
74. Marai I. F. M., Habeeb A. A. M., Gad A. E. Rabbit's productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. *Livest Prod Sci.* 2002. 78. P. 71 – 90. DOI: 10.1016/S0301-6226(02)00091-X.
75. Abdel-Hamid T. M., El-Tarabany M. S. Effect of bee pollen on growth performance, carcass traits, blood parameters, and the levels of metabolic hormones in New Zealand White and Rex rabbits. *Trop Anim Health Prod.* 2019. 51 (8). P. 2421 – 2429. DOI:10.1007/s11250-019-01961-8.
76. Harkness J. E., Turner P. V., VandeWoude S., Wheler C. L. Haematology, clinical chemistry, and urinalysis. In: *Biology and medicine of rabbits and rodents.* 2012. P. 116 – 131. DOI: 10.1016/B978-0-12-380920-9.00003-1.

77. Kenessey A., Ojamaa K. Thyroid hormone stimulates protein synthesis in the cardiomyocyte by activating the Akt-mTOR and p70S6K pathways. *J Biol Chem.* 2006.281. P. 66 – 72. DOI:10.1074/jbc.M512671200.
78. Marai I. F. M., Haebe A. A. M., Gad A. E. Biological functions in young pregnant rabbit does as affected by heat stress and lighting regime under subtropical conditions of Egypt. *Trop Subtrop Agroecosyst.* 2007. 7 (3). P. 165 – 176.
79. Song Z., Zhao G., Zhang Y. The effect of heat stress on rabbits and its nutrition regulation. *Feed Res.* 2006. 7. P. 19 – 22. DOI: 10.3969/j.issn.1001-0084.2006.07.007.
80. Yan Y., Li M. *Feeding Management Technology of Breeding Rabbit in Hot Climate.* Qingdao Kanada Food Company Limited Kanada Group. 2008. P. 25 – 27. Available online at: <http://hostcambodia.com/mekarn/prorab/yan.htm>.
81. Ayyat M. S., Al-Sagheer A. A., Abd El-Latif K. M. Organic selenium, probiotics, and prebiotics effects on growth, blood biochemistry, and carcass traits of growing rabbits during summer and winter seasons. *Biol Trace Elem Res.* 2018. 186 (1). P. 162 – 73. DOI: 10.1007/s12011-018-1293-2.
82. Jimoh O. A., Ewuola E. O., Balogun, A. S. Маркери окисного стресу в екзотичних породах кроликів під час піку теплового стресу в Ібадані. *Nig J Adv Biol Biotechn.* 2017. 12. P. 1 – 9.
83. Jimoh O. A., Oyeyemi B. F., Oyeyemi W. A. Soursop juice enhanced seminal antioxidant defence and semen quality of rabbit bucks in extremely dry climatic condition of Southwestern Nigeria. *J Therm Biol.* 2021. 8. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2021.103034.
84. Yang L. P., Gao S. X., Bai L. Y., Zhang X. L., Sun H. T., Wang W. Z., et al. Comparative study on hair production performance of long-haired rabbits in different seasons. *China Rabbit Rais.* 2016. 5. P. 4 – 6. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6327.2016.05.001.
85. Garcia M. L., Argente M. J. Exposure to high ambient temperatures alters embryology in rabbits. *Int J Biometeorol.* 2017. 61. P. 1555 – 1560. DOI: 10.1007/s00484-017-1334-0.
86. Shahnawaz Kumbhar, Alam Z Khan, Fahmida Parveen, Zaheer A Nizamani, Farman A Siyal, Mohamed E Abd El-Hack, Fang Gan, Yunhuan Liu, Muhammad Hamid, Sonia A Nido, Kehe Huang. Impacts of selenium and vitamin E supplementation on mRNA of heat shock proteins, selenoproteins and antioxidants in broilers exposed to high temperature. *AMB Express.* 2018. 8. P. 112. DOI: 10.1186/s13568-018-0641-0.
87. Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., et al. Oxidative stress: harms and benefits for human health. *Oxid Med Cell.* 2017. DOI: 10.1155/2017/8416763.



88. Phaniendra A., Jestadi D. B., Periyasamy L. Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian J Clin Biochem.* 2015.30 (1). P. 11 – 26. DOI: 10.1007/s12291-014-0446-0.
89. Omeje V. I. Effect of Dietary Supplementation of Organic Selenium at Different Levels on Reproductive Performance of Rabbit Does. *Front Vet Sci.* 2016. P. 5. DOI: 10.3389/fvets.2020.00290.
90. Marco-Jiménez F., García-Diego F. J., Vicente J. S. Effect of gestational and lactational exposure to heat stress on performance in rabbits. *World Rabbit Sci.* 2017. 25. P. 17 – 25. DOI: 10.4995/wrs.2017.5728.
91. Durairajanayagam D., Agarwal A., Ong C. Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. *Reprod Biomed Online.* 2015. 30 (1). P. 14 – 27. DOI: 10.1016/j.rbmo.2014.09.018.
92. El-Desoky N. I., Hashem N. M., Elkomy A., Abo-elezz Z. R. Physiological response and semen quality of rabbit bucks supplemented with Moringa leaves ethanolic extract during summer season. *Animal* 2017. 11. P. 1549 – 1557. DOI: 10.1017/S1751731117000088.
93. El-Desoky N. I., Hashem N. M., Elkomy A., Abo-elezz Z. R. Physiological response and semen quality of rabbit bucks supplemented with Moringa leaves ethanolic extract during summer season. *Animal* 2017. 11. P. 1549 – 1557. DOI: 10.1017/S1751731117000088.
94. Jie Z., Chao Y., Min L., Li T., Zhang X. Y., Xie, X. H. The effect of heat stress on the reproductive performance of rabbits and the research progress of related heat shock proteins. *Rabbit Rais China.* 2020. 235. P. 19 – 22. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6327.2020.01.005.
95. Kuang L. D. Li. C. Y., Guo Z. Q., Ren Y. J., Zheng J., Mei X. L., et al. Effects of heat stress on reproductive performance, serum biochemical indexes and reproductive hormones in female rabbit of Qixing. *Southwest China J Agric Sci.* 2021. 34. 1323 – 1329. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2021.6.027.
96. Zheng J., Xie X. H., Lei M., Tang L., Zhang X. Y., Yang C. Research progress on the effect of heat stress on the semen quality of male rabbits and its mechanism. *China Rabbit Rais.* 2018. 6. P. 24 DOI: 10.3969/j.issn.1005-6327.2018.06.008.
97. Sri Sindhura K., Selvam P. P., Prasad T. N. V. K. V., Hussain O. M. Synthesis, characterization and evaluation of effect of phyto-genic zinc nanoparticles on soil exo-enzymes. *Appl Nanosci.* 2014. 4 (7). P. 819 – 827. DOI: 10.1007/s13204-013-0263-4.
98. Izabela Michalak, Katarzyna Dziergowska, Mahmoud Alagawany, Mayada, R., Farag, Nahed, A., El-Shall, Hardeep Singh Tuli, Talha Bin Emran Kuldeep Dhama. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production of livestock animals and poultry. *Veterinary Quarterly.* 2022. 42 (1). P. 68 – 94. DOI: 10.1080/01652176.2022.2073399.

99. Hidayat C., Sumiati S., Jayanegara A., Wina E. Supplementation of dietary nano Zn-phytogenic on performance, antioxidant activity, and population of intestinal pathogenic bacteria in broiler chicken. *Trop Anim Sci J.* 2021.44 (1). P. 90 – 99. DOI: 10.5398/tasj.2021.44.1.90.
100. Ouyang Z., Ren P., Zheng D., Huang L., Wei T., Yang C., Kong X., Yin Y., He S., He Q. Hydrothermal synthesis of a new porous zinc oxide and its antimicrobial evaluation in weanling piglets. *Livestock Sci.* 2021. 248. P. 104. DOI:10.1016/j.livsci.2021.104499.
101. Scott A., Vadalasetty K. P., Chwalibog A., Sawosz E. Copper nanoparticles as an alternative feed additive in poultry diet: a review. *Nanotechnol Rev.* 2017. 7(1). P. 69 – 93. DOI:10.1515/ntrev-2017-0159.
102. Tsai Y. H., Mao S. Y., Li M. Z., Huang J. T., Lien T. F. Effects of nanosize zinc oxide on zinc retention, eggshell quality, immune response and serum parameters of aged laying hens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2016. 213.P. 99 – 107. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2016.01.009.
103. Prasad A. S., Bao B. Review, Molecular Mechanisms of Zinc as a Pro-Antioxidant Mediator: Clinical Therapeutic Implications. *Antioxidants.* 2019. 8. P. 164. DOI: 10.3390/antiox8060164.
104. Chrastinová L., Čobanová K., Chrenková M., Poláčíková M., Formelová Z., Lauková, A., Ondruška, L., Simonová, P.M., Stropmfová, V., Mlyneková, Z., et al. Effect of dietary zinc supplementation on nutrients digestibility and fermentation characteristics of caecal content in physiological experiment with young rabbits. *Slovak J. Anim. Sci.* 2016. 49. P. 23 – 31.
105. Swain P. S., Somu B. N. Rao., Duraisamy Rajendran, George Dominic, Sellappan Selvaraju. Nano zinc, an alternative to conventional zinc as animal feed supplement: A review. *Animal Nutrition.* 2016. P. 134 – 141. DOI: 10.1016/j.aninu.2016.06.003.
106. Swain P. S., Rajendran D., Rao S.B.N., Dominic G. Preparation and effects of nano mineral particle feeding in livestock: a review. *Vet World.* 2015. 8 (7). P. 888 – 891. DOI: 10.14202/vetworld.2015.888-891.
107. Sheiha A. M., Abdelnour S. A., Abd El-Hack M. E., Khafaga A. F., Metwally K. A., El-Saadony M. T. Effects of dietary biological or chemical synthesized nano-selenium supplementation on growing rabbits exposed to thermal stress. *Animals.* 2020.10 (3) . P. 43. DOI:10.3390/ani10030430.
108. Qazi I.H., Angel C., Yang H., Zoidis E., Pan B., Wu Z., et al. Role of selenium and selenoproteins in male reproductive function: a review of past and present evidences. *Antioxidants.* 2019. 8. P. 268 – 304. DOI: 10.3390/antiox8080268.
109. Jang I. S., Ko Y. H., Moon Y. S., Sohn S. H. Effects of vitamin C or E on the pro-inflammatory cytokines, heat shock protein 70 and antioxidant

status in broiler chicks under summer conditions. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2014. 27 (5). P. 749 – 756. DOI: 10.5713/ajas.2013.13852.

110. Cardoso B. R., Roberts B. R., Bush A. I., Hare D. J. Selenium, selenoproteins and neurodegenerative diseases. *Metallomics* 2015. 7 (8). P. 1213 – 1228. DOI: 10.1039/c5mt00075k.

111. Li M., Zhang Y., Li S. Effects of selenium deficiency on testis development and autophagy in chicks. *Ital. J. Anim. Sci.* 2020. 19 (1). P. 753 – 761. DOI:10.1080/1828051X.2020.1786739.

112. Zoidis E., Seremelis I., Kontopoulos N., Danezis G. P. Selenium-dependent antioxidant enzymes: Actions and properties of selenoproteins. A review. *Antioxidants.* 2018 7 (5). P. 66. DOI:10.3390/antiox7050066.

113. Abdurashid M., Juniper D. T. Effect of dietary protein, selenium and temperature humidity index on reproductive traits of male rabbits in a tropical environment. *J Ani Prod Res.* 2016. 28. P. 61 – 75.

114. Li L. J., Ruan T., Lyu Y. and Wu B. Y. Advances in Effect of Germanium or Germanium Compounds on Animals – A Review. *Journal of Biosciences and Medicines.* 2017. 5. P. 56 – 73. DOI: 10.4236/jbm.2017.57006.

115. Zheng H. P. Physiological Function of Organic Germanium and Its Application in Food. *Studies of Trace Elements and Health.* 2011. 28. P. 65 – 67.

116. Лесик Я. В., Федорук Р. С., Кропивка С. Й.. Гематологічні показники та антиоксидантний статус організму кролів за випоювання цитрату і хлориду хрому. *Біологія тварин.* 2013. 15 (3). С. 54 – 62.

117. May Bin-Jumah. M. E., Abd El-Hack, Abdelnour S. A., et al., Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review, *Science of the Total Environment* 2019. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.135996.

118. Refaie Amira M., Mervat N Ghazal., Fadila M Easa., Safaa A Barakat, Morsy W.A., Younan G. E, Eisa W.H. Nano-copper as a new growth promoter in the diet of growing New Zealand White rabbits. *Egyptian Journal of Rabbit Science.* 2015. 25 (1). P. 39 – 57. DOI:10.21608/ejrs.2015.46697.

119. Abd-El Ghany Fatma T. F., Zawrah M. F. and Mohamed M. Y. Influence of some trace minerals in form of normal and nano particles as feed supplementation on growing rabbit diets. *Egypt. J. Nutr. and Feeds.* 2016. 19 (3). P. 497 – 509.

120. Abdelsalam M., Al-Homidan I., Ebeid T., Abou-Emera O., Mostafa M., Abd El-Razik, M., Shehab-El-Deen M., Abdel Ghani S., Fathi M. Effect of silver nanoparticle administration on productive performance, blood parameters, antioxidative status, and silver residues in growing rabbits under hot climate. *Animals.* 2019. 9 (10). P. 845. DOI:10.3390/ani9100845.

121. Дичок А. З., Лесик Я. В., Цап М. М. Резистентність організму кролів за дії сполук сульфуру. *Біологія тварин*. 2018. 20 (3). С. 16 – 24.

122. Lesyk Ya., Dyshok-Nidzelska A., Boiko O., Vachenko M., Honchar O. Reproductive Ability of Doe-Rabbits and Growth and Preservation of the Offspring by Feeding Sulfur Compounds. *Scientific Horizons*. 2021. 24 (8). P. 9 – 14. DOI: 10.48077/scihor.

**Information about the authors:**

**Yuzviak Marian Osyrovych,**

Postgraduate Student

Institute of Animal Biology of the National Academy  
of Agrarian Sciences of Ukraine

38, Vasylia Stusa str, Lviv, 79034, Ukraine

**Lesyk Yaroslav Vasyliovych,**

Doctor of Veterinary Sciences, Senior Researcher,

Professor at the Department of Biology and Chemistry

Ivan Franko Drohobych State Pedagogical University

24, I. Franka str., Drohobych, Lviv region, 82100, Ukraine

**Salyha Yuriy Tarasovych,**

Doctor of Biological Sciences,

Director

Institute of Animal Biology of the National Academy  
of Agrarian Sciences of Ukraine

38, Vasylia Stusa str, Lviv, 79034, Ukraine

# 02

## CHAPTER



### Technology of production and processing of livestock products

**INNOVATIVE DIRECTIONS OF THE BIOTECHNOLOGY  
OF GROWING *CHERAX QUADRICARINATUS*  
IN THE AQUACULTURE OF UKRAINE**

**Hrynevych N. Ye., Zharchynska V. S.**

**INTRODUCTION**

World aquaculture is actively developing, steadily increasing its share in the total production of hydrobionts. Today, more than 48% of consumed fish products are grown in aquaculture. In the area of consumption, the range of delicate species of hydrobionts (including crustaceans) is expanding<sup>1</sup>.

Aquaculture of crustaceans is one of the main sources of valuable food protein, which cannot be replaced by other animal or vegetable proteins due to its properties<sup>2</sup>.

The statistics of The Food and Agriculture Organization (FAO) mention 45 species of crustaceans as a separate object of aquaculture: shrimp (*Caridea*) – 26; crabs (*Brachyura*) – 9; river crayfish (*Astacoidea*, *Parastacoidea*) – 7; lobsters (*Achelata*) – 3. In the total volume of crustacean aquaculture, crayfish occupy 10%, crabs – 15%, and the main volume falls on shrimp – 75%<sup>3</sup>.

The production of products that ensures maximum profit is determined, firstly, by the development of aquaculture as an element of the primary sector of the country's economy and, secondly, by the high technological level of cultivation of hydrobionts on an industrial scale.

Over the past twenty years, the Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) has been introduced to many countries and successful aquaculture sectors of this species have been established<sup>4</sup>.

At the moment, in Ukraine, there is a lot of information on the methods of growing the Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) only at the amateur, experimental level, without standards of breeding and maintenance technology. Market analysis showed a complete

---

<sup>1</sup> Haubrock P.J., Oficialdegui F.J., Zeng Y., Patoka J., Yeo D.C.J., Kouba A. The redclaw crayfish: A prominent aquaculture species with invasive potential in tropical and subtropical biodiversity hotspots. *Reviews in Aquaculture*. 2021. № 13(3). P. 1488–1530.

<sup>2</sup> Boyd C.E., McNevin A.A., Davis R.P. The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food Security*. 2022. № 14. P. 805–827.

<sup>3</sup> FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome.

<sup>4</sup> Patoka J., Wardiatno Y., Mashar A., Wowor D., Jerikho R., Takdir M., Purnamasari L., Petryl M., Kalous L., Kouba A., Blaha M. Redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868), widespread throughout Indonesia. *BioInvasions Records*. 2018. № 7(2). P. 185–189.

lack of marketable *Cherax quadricarinatus*. At the same time, the large number of proposals for the sale of fry of this hydrobiont suggests the establishment of breeding methods and the complete absence of the technology for growing a commercial product<sup>5</sup>.

On a large scale, the cultivation of red-clawed crayfish requires knowledge of biological characteristics, mastering the biotechnological process of reproduction, research into the breeding and economic features of this species with the development of modern, progressive biotechnological schemes and standards for controlled conditions.

### **1. Australian red-clawed crayfish is a new object of freshwater crustacean aquaculture in Ukraine**

Aquaculture of crustaceans has been developing for many years in countries with tropical and subtropical climates, while industrial cultivation of these hydrobionts occupies an insignificant place in temperate latitudes<sup>6</sup>.

The Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (Fig. 1) appeared relatively recently on the territory of Ukraine as an object of aquaculture and aquarium science.



**Fig. 1. Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868), ♂ (photo by authors)**

Biological classification: type – *Arthropoda*; subtype – *Crustacea*; class – *Malacostraca*; series – *Decapoda*; family – *Parastacidae*; genus – *Cherax*;

---

<sup>5</sup> Hrynevych N.E., Zharchynska V.S., Svitelskyi M.M., Khomiak O.A., Sliusarenko A.O. Promising object of aquaculture of crustaceans *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868): biology, technology (review). *Aquatic bioresources and aquaculture*. 2022. № 1. P. 47–62.

<sup>6</sup> Nanda P.K., Das A.K., Dandapat P., Dhar P., Bandyopadhyay S., Dib A.L., Lorenzo J.M., Gagaoua M. Nutritional aspects, flavour profile and health benefits of crab meat based novel food products and valorisation of processing waste to wealth: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. № 112. P. 252–267.

species – *Cherax quadricarinatus*. The first description and scientific species name was given in 1868 by the German zoologist Karl Eduard von Martens<sup>7</sup>.

The natural range of distribution includes the northern territories of Australia, northwestern Queensland, the southern part of Papua New Guinea, as well as New Zealand, where red-clawed crayfish inhabit floodplains, small freshwater rivers, lakes and streams. They live under stones, tree trunks, sometimes in burrows. *Cherax quadricarinatus* is a fairly large representative of the river crayfish of the Australian continent. The body length reaches 20-25 cm. The weight of males is 500 g, and females – 400 g. In sexually mature males, a peculiar bright red flat growth is clearly visible on the outer part of the claw. It is because of this feature that the species got its name<sup>8</sup>.

The species *Cherax quadricarinatus* was first introduced to the general public in the late 1980s, in south-east Queensland, as a promising new target for commercial aquaculture and a potential source of income for farmers.

Today, China is the largest supplier of *Cherax quadricarinatus* products in the world market (more than 70%). As an aquaculture species, red claw crab has been introduced to Argentina, Barbados, Guatemala, Malaysia, Mauritius, Mexico, New Caledonia, Samoa, Uruguay, Belize, Indonesia, Morocco, Panama and Spain. The main countries that grow Australian red-clawed crayfish in commercial volumes are Indonesia, Israel, Spain and the USA. Marketable crayfish are grown both in monoculture and in polyculture together with non-predatory fish species (*Cyprinus carpio*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Hypophthalmichthys nobilis*, *Ctenopharyngodon idella*)<sup>9</sup>.

The Australian red claw crab *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) dominates crustaceans in terms of biological, ecological and commercial properties in freshwater aquaculture. *Cherax quadricarinatus* is an optimal species for cultivation due to a number of characteristics: a relatively simple life cycle, unpretentiousness to the conditions of maintenance, high resistance, the ability to consume a wide range of feeds. This species is quite capable of competing with freshwater shrimp (*Macrobrachium rosenbergii*), which is in good demand. In addition, the works of<sup>10</sup> confirm the high degree of profitability and significant potential of industrial crayfish farming.

---

<sup>7</sup> Crandall K.A., Grave S.D. An updated classification of the freshwater crayfishes (*Decapoda: Astacidea*) of the world, with a complete species list. *Journal of Crustacean Biology*. 2017. № 37(5). P. 615–653.

<sup>8</sup> Naranjo J., Vargas-Mendieta M., Hernandez-Llamas A., Mercier L. Dynamics of commercial size interval populations of female redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) reared in gravel-lined ponds: A stochastic approach. *Aquaculture*. 2017. № 484. P. 82–89.

<sup>9</sup> Tacon A.G.J., Metian M. Fish matters: importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*. 2013. № 21(1). P. 22–38.

<sup>10</sup> Zheng-Bin T., Saadiah I., Chaiw-Yee T. Comparative study on the nutritional content and physical attributes of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) meats. Preprint (Version 1) 2022.



*Cherax quadricarinatus* has a significant yield in terms of meat yield, which is about 30% of body weight and compares favorably with other commercially valuable crustaceans. The composition of *Cherax quadricarinatus* meat: water – 81.0%, proteins – 16.46%, fats – 0.16%, fiber – 0.1%, ash – 1.42%, etc. – 0.86%.

As a delicacy, decapod crustaceans are traditionally valued on the domestic and world markets. The attractiveness of this direction is also related to the waste-free production technology of crustacean products, which is due to the presence of chitin, melanin and chitosan in the carapaces of crayfish, which have found their wide application in humane medicine and in animal husbandry<sup>11</sup>.

## **2. Peculiarities of the external structure and biological characteristics of the Australian red-clawed crayfish**

Cultivation of any kind of hydrobionts involves studying the external structure and biological features<sup>12</sup>.

The body of *Cherax quadricarinatus* is divided into two parts: cephalothorax and abdomen. The cephalothorax is externally unsegmented, covered with a chitinized carapace. Abdomen consists of movably connected six segments and telson; the latter has the shape of a plate, carries the anus and forms a fin together with the last pair of abdominal limbs. The front part of the cephalothoracic shield is elongated into a long, pointed, wedge-shaped rostrum. Complex faceted eyes are located on the sides of the base of the rostrum, on the movable outgrowths of the head are stalks. There is an arcuate groove on the carapace – sutura cervicalis. It separates the main part of the cephalothorax from the chest. From this groove, along the thoracic part of the carapace, there are two gill-cardiac grooves (suturae branchiocardiales), which limit the area where the heart is located. Lateral parts of the head of the thoracic shield are branchiostegites form gill cavities in which pinnate gills are located<sup>13</sup>.

The mobility of the abdominal segments relative to each other is explained by the fact that there is only a thin and soft chitinous cuticle between them, while the dorsal and ventral parts of the segments themselves are limited by chitinous plates that form the exoskeleton. The abdomen almost does not bend on the dorsal side, while on the ventral side it bends under the cephalothorax, which happens, for example, during swimming of crayfish. This depends in part on the fact that the dorsal plates (tergites) of the exoskeleton of the

---

<sup>11</sup> Jones C.M., Valverde C. Development of mass production hatchery technology for the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Freshwater Crayfish*. 2020. № 25(1). P. 1–6.

<sup>12</sup> Arias A., Torralba-Burrial A. (2021). First record of the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) on the Iberian Peninsula. *Limnetica*. 2021. № 40. P. 33–42.

<sup>13</sup> Kawai T., Policar T., Kouba A. Gill morphology and formulae of European Astacidae. *Freshwater Crayfish*. 2021. № 26(2). P. 127–137.

abdominal segments are wide, while the ventral plates (sternites) are narrow, with spaces between them bounded externally by an elastic chitinous cuticle. The relative width of the abdomen in relation to the cephalothorax is different in males and females. In males, the abdomen is narrower, in females – wider<sup>14</sup>.

The ventral part of the Australian red-clawed crayfish is represented by limbs. In front of the rostrum is the first pair of small antennules, in its distal part each antennule carries two flagellar appendages. From them, a second pair of bundles is articulated, characterized by a long cord-like appendage. On the ventral side of the cephalothorax, there is a mouth opening surrounded by oral limbs that serve to hold and grind food. The number of limbs is six pairs (one pair of upper jaws, or mandibles, two pairs of lower jaws, or maxillae, and three pairs of mandibles)<sup>15</sup>.

Five pairs of walking legs (thoracopods) are attached to the thoracic part of the cephalothorax, which perform the function of locomotion. And besides, the first three pairs bear claws, the last two lack them. The external genital openings of the female are located on the main joint of the third pair of walking legs. In males, they are located on the first (proximal) joint of the fifth pair of walking legs. Small bifurcated limbs (pleopods) typical for crustaceans are observed on the abdomen. The sixth pair of abdominal legs (uropods) is flattened in the dorsoventral direction and together with the limbless telson forms a fin.

Regarding the structure of the two front pairs of abdominal limbs, males and females differ sharply from each other. In males, they are modified into a copulatory apparatus, well developed and bent forward under the posterior part of the cephalothorax. The sexual dimorphism of males of the Australian red-clawed crayfish is also manifested in the form of a red growth from the outer part of the first pair of walking legs (claws).

In females, the first pair of abdominal legs is underdeveloped, in the form of a small appendage. The second pair has the bifurcated structure usual for pleopods. With the onset of puberty, developing eggs or hatched young can often be found on the abdominal legs of females. Females show concern for offspring<sup>16</sup>.

The color of the chitin cover is from dark green to light blue, due to the presence of pigments.

---

<sup>14</sup> Norshida I., Mohd Nasir MSA, Khaleel A.G., Sallehuddin A.S., Syed Idrus S.N., Istiqomah I., Venmathi Maran B.A., Ahmad S.K. First wild record of Australian redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in the East Coast of Peninsular Malaysia. *BioInvasions Records*. 2021. № 10(2). P. 360–368.

<sup>15</sup> Cheng S., Wei Y., Jia Y., Li F., Chi M., Liu S., Zheng J., Wang D. A study on primary diets for juveniles of red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Research*. 2020. № 52(5). P. 2138–2145.

<sup>16</sup> Rigg D.P., Courtney R.L., Jones C.M., Seymour J.E. Morphology and weight-length relationships for the first six instars of *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868). *Freshwater Crayfish*. 2021. № 26(1). P. 9–16.

The presence of a rigid exoskeleton causes the rapid growth of crayfish, unlike vertebrates. Growth is accompanied by periodic moulting<sup>17</sup>.

Moulting individuals have soft coats. The composition of the chitinous coating of crayfish: 48% CaCO<sub>3</sub>; 6.8% Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>; 40.6% of organic substances, 4.6% – small amounts of Mg, Al, Fe salts. In this period of their life, crayfish are completely defenseless, therefore, they hide in shelters of various types<sup>18</sup>.

The study of the features of the external structure of the Australian red-clawed crayfish is necessary for a better understanding and further development of an effective resource-saving biotechnology for the reproduction and cultivation of this species in the conditions of freshwater aquaculture.

### **3. Ontogeny and critical periods of development of *Cherax quadricarinatus***

Despite the increase in production, aquaculture of crustaceans is associated with the risks of their ontogenesis. Existing morphological and ethological features of individuals must be taken into account for the biotechnology of cultivation.

A solid exoskeleton is one of the key features of arthropods, which contributed to their widespread distribution in the aquatic environment. It has a cuticular origin, performs protective and supporting functions. The cuticle of crustaceans consists of four layers: epi-, exo- and endocuticle, mineralized with calcium carbonate, and an inner membrane layer. The exoskeleton of crustaceans is a complex structure that is characterized by unique biomechanical resistance to stretching and mechanical impact. Despite the advantages, external covers have a significant drawback, this is the growth of *Crustacea* which is possible only as a result of ecdysis, which consists of 4 stages: proecdysis, ecdysis, metecdysis, anecdysis<sup>19</sup>.

In higher crustaceans, ecdysis is controlled by the endocrine system. In particular, these are Y-organs located in the second maxillary segment and X-organs located near the eyes (or in the eye stalk). The glandular cells of the Y-organ produce the molting hormone – ecdysone, which also stimulates metabolic processes and body growth. In addition, the Y-organ produces a hormone that stimulates the development of the gonads. The neurosecretory

---

<sup>17</sup> Sales J. Prediction of digestible protein and lipid contents of crustacean feeds. *Aquaculture Nutrition*. 2010. № 16(6). P. 559–568.

<sup>18</sup> Ghanawi J., Saoud I. P. Molting, reproductive biology, and hatchery management of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Aquaculture*. 2012. № 358–359. P. 183–195.

<sup>19</sup> Neelima H., Srinivasa R.B., Ramachandra R.P. Crustacean molting: regulation and effects of environmental toxicants. *Journal of Marine Science: Research & Development*. 2017. № 7(5). P. 236.

cells forming the X-organ produce the neurohormone MIH (Moult inhibiting hormone), this is an ecdysone antagonist that inhibits the molting process<sup>20</sup>.

Cyclic changes associated with ecdysis occur not only in the outer integuments, they also affect the anatomy, biochemistry, and physiology of other systems. Ecdysis in crayfish does not occur during the period of sexual mating, spawning and bearing of offspring. Females usually molt before mating and after dropping the crustaceans from the pleopods. The molting process of the Australian red-clawed crayfish, depending on the age, takes a different time from 5 min. up to 24 hours. Hardening of the new exoskeleton takes place within 6-10 days.

Ecdysis is preceded by the formation of new integuments, the removal of nutrients from the old cuticle, and its exfoliation. At the same time, the shell of the gills, esophagus, eyes and organs of the digestive system is renewed<sup>21</sup>.

During ecdysis, the size of the individual increases due to water absorption in the digestive system and osmotic transport in the gills. This leads to a multiple increase in hemolymph pressure and ensures the straightening of new covers. For most species of decapod crustaceans, the hardening of the integuments is associated with the process of their calcification. The ways in which calcium is used mainly depend on the way of life of hydrobionts. Freshwater crustaceans store calcium in their tissues. Thus, they have a reservoir of calcium ions available immediately after moulting.

In this case, complete mineralization of the new cuticle includes remobilization of accumulated calcium. *Cherax quadricarinatus* store calcium ions, after molting, to calcify parts of the new exoskeleton. They are mainly stored in the form of amorphous calcium carbonate (ACC) for each previous moult in a pair of gastroliths synthesized in the stomach wall<sup>22</sup>.

The ecdysis of the Australian red-clawed crayfish has periods: 1) the crayfish begins to «scratch» in order to make a hole in the old shell; 2) air and water enter through the hole under the shell; 3) the crayfish gets rid of the old chitinous cover by lying on its side, pulling the carapace first from the cephalothorax, and then freeing the abdomen with a leap.

After molting, the old exoskeleton remains almost intact. During ecdysis, crayfish can lose limbs and sometimes die. Often, crayfish cannot extract some part of the body, most often the claw, from the outer shell. Then they discard the limb and leave it in the old shell. The loss of limbs reflects the

---

<sup>20</sup> Daubnerová I., Žitňan D. Ecdysis triggering hormone. *Handbook of Hormones (Second Edition)*. 2021. № 2. P. 829–831.

<sup>21</sup> Nhut T.M., Mykles D.L., Elizur A., Ventura T. Ecdysis triggering hormone modulates molt behaviour in the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*, providing a mechanistic evidence for conserved function in molt regulation across Pancrustacea. *General and Comparative Endocrinology*. 2020. № 298(1). P. 113556.

<sup>22</sup> Fasya A.H. Study of the relationship pattern of ecdysis with age of freshwater lobster *Cherax quadricarinatus* aged 76 days. *Contributions of Central Research Institute for Agriculture*. 2021. № 15(3). P. 78–82.

inherent ability of decapods to autotomy a protective mechanism that helps escape from predators. Therefore, there are often individuals with one claw or two, but different in size.

A number of factors affect the ecdysis of the Australian red-clawed crayfish, namely: age, sex, environmental temperature, nutrition. In young individuals, this happens more often, about 1-2 times a week. After moulting, the new cuticle remains soft and elastic, adults moult less often, once every 1–2 months<sup>23</sup>.

Behavior, ecdysis in young and adult decapod crustaceans and the dynamics of food consumption are closely related. The available data allow us to distinguish general patterns for *Cherax quadricarinatus*: feed consumption reaches a maximum in the middle and in the first half of the molting cycle; during the period of proecdysis, there is a decrease in feed consumption; during ecdysis, and in adults before and after it, the individual does not feed; at the end of late metecdysis, with the hardening of the integuments, there is a sharp increase in feed consumption. The share of fodder objects with high calcium content is increasing.

In addition, soft covers after molting lead to a significant decrease in the protection of individuals, which, especially in aquaculture conditions, is one of the main reasons for the occurrence and exacerbation of intraspecific cannibalism<sup>24</sup>.

Cannibalism can be avoided by synchronization of ecdysis and isolation of molting individuals.

#### **4. Analysis of innovative directions of *Cherax quadricarinatus* cultivation biotechnology**

Aquaculture of *Cherax quadricarinatus* in the world is mostly carried out extensive pond systems, but interest in the development of more intensive methods is growing.

Cultivation of red claw crayfish in Ukraine is at the stage of improvement and has its own characteristics. This is primarily due to the cold winter season.

That is why the cultivation of these arthropods in our country takes place in two stages: cultivation in artificial conditions (recirculation systems, aquariums) and growing to marketable mass in reservoirs for fish farming with a depth of 1 to 2.5 meters and a surface area of 0.05 to 0.5 ha.

Domestic aqua farmers are working on the technology of growing Australian crayfish exclusively in artificial conditions. The conditions for growing *Cherax quadricarinatus*, except for the temperature of the water

---

<sup>23</sup> Zharchynska V.S., Hrynevych N.E. Improvement of crustacean rearing technology using the example of *Cherax quadricarinatus*. *Scientific Bulletin of the LNUVMB named after S.Z. Gzhiitskyi*. 2022. № 24(96). P. 16–23.

<sup>24</sup> Calvo N.S., Stumpf L., Sacristan H.J. Energetic reserves and digestive enzyme activities in juveniles of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* nearby the point-of-no-return. *Aquaculture*. 2013. № 416–417. P. 85–91.

environment, are similar to those for long-toed crayfish (*Pontastacus leptodactylus*).

The process of growing crayfish on an industrial scale should include the following stages: formation of a brood stock, reproduction, incubation of roe, rearing of young and adult (marketable) individuals<sup>25</sup>.

The growth rate of *Cherax quadricarinatus* is influenced by the factors of abiotic (water temperature, hydrogen index, hardness, dissolved oxygen content, illumination) and biotic (planting density, intensity of reproduction, individual characteristics of individuals) environment<sup>26</sup>.

Environmental temperature during crustacean culture is an integral component of the organism's physiological ability to consume and convert resources, such as food, into growth, reproduction, and survival. Australian red claw crayfish can tolerate a wide range of temperatures from 16 to 32°C. *Cherax quadricarinatus* grows best at a temperature of 20 to 34°C. The optimum temperature is 27°C. When creating conditions for reproduction, the water temperature should be 28°C. A temperature below 10°C and above 36°C is lethal for the species and a limiting factor during cultivation<sup>27</sup>.

The hydrogen indicator is within 6.5-8.5 pH units. Hardness is from 5 to 20 mg-equiv./dm<sup>3</sup>. As the hardness of the water increases, the color of these arthropods becomes more saturated and bright. In sufficiently soft water, the color of their chitinous shell acquires a light brown shade with a blue sheen. The content of oxygen dissolved in water is 6-7 mg/dm<sup>3</sup>. Illumination is 14/10 (day – 14 hours; night – 10 hours).

Australian crayfish usually reach puberty between 6 and 12 months of age. To stimulate the simultaneous production of offspring, males and females are placed separately for 7-10 days, temperature – 17-18°C, illumination 10 (day)/14 (night). Then gradually raise the temperature by 1-2°C per day to the optimum. and illumination 14 (day)/10 (night) and sex ratio at the rate of 2-3 females to 1 male.

After mating, the female Australian crayfish begins to form eggs under her abdomen, which she then hatches for 8-9 weeks (primarily this depends on the water temperature). Each adult female is able to bring 3-5 clutches of 300 to 800 eggs. Spawning in Australian crayfish occurs three times a year, and the survival rate of young is about 60%. Under optimal conditions, crayfish grow

---

<sup>25</sup> Honcharova O., Sekiou O., Kutishchev P. Physiological and biochemical aspects of adaptation-compensatory processes of hydrobionts under the effect of technological factors. *Fisheries science of Ukraine*. 2021. № 4(58). P. 101–114.

<sup>26</sup> Grynevych N.E., Zharchynska V.S., Shariga V.S. The value of abiotic factors during the cultivation *Cherax quadricarinatus*. *Book of abstracts of the I International Scientific and Technical Conference «Water quality: biomedical, technological, agro-industrial and environmental aspects»* (Ternopil, 20–21 May 2021). Ternopil, 2021. P. 74–75.

<sup>27</sup> Thompson K.R., Muzinic L.A., Yancey D.H., Webster C.D., Rouse D.B., Xiong Y. Growth, processing measurements, tail meat yield, and tail meat proximate composition of male and female Australian red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, stocked into earthen ponds. *Journal of Applied Aquaculture*. 2004. № 16(3/4). P. 117–129.

rapidly and can reach commercial size (approximately 50-100 g) within 5-6 months<sup>28</sup>.

The young grow quickly, but unevenly, so from time to time they need to be sorted by size. The size groups formed as a result of sorting must be kept in different aquariums or pools and the weaker ones must be constantly culled. Reasons for uneven growth of individuals include: competition for food (dominant individuals eat more food than weaker ones); aggressive interaction of crayfish (damage to limbs during «fights»); chemicals secreted by larger individuals that inhibit the growth of smaller crayfish. A change in the size of red-clawed crayfish can have a negative effect on smaller individuals due to hierarchical dominance.

Cannibalism is the main fundamental difference from which all the following technological features of crustacean cultivation follow. If the main factors limiting the density of planting, and therefore the productivity in artificial fish farming, can be the oxygen regime and the level of accumulation of organic substances released, then when keeping crustaceans, the problem of cannibalism comes to the fore and ultimately determines the biomass<sup>29</sup>.

To increase survival and growth rate during cultivation of the Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in aquaculture conditions, special attention should be paid to the organization of the bottom area and the availability of shelter. The need for shelter is explained by providing individuals with the absence of exposure to stress factors and the space in which they are until the normal recovery of the body.

Containers for growing crustaceans and shelters in them must have a special design and meet certain requirements: provide the necessary specific surface area of the shelter, sufficient and uniform water exchange, free removal of sediment that accumulates both inside the shelter and at the bottom of the rearing pool<sup>30</sup>.

Studies<sup>31</sup> have demonstrated the effectiveness of various materials that provide a habitat for juveniles and adults: microtubes, polypropylene mesh bags, artificial macrophytes, PVC pipes of various sizes. During cultivation in industrial conditions, shelter should be provided to crayfish at the rate of 3 cells per 1 specimen.

---

<sup>28</sup> Calvo N.S., Tropea C., Anger K., Lopez-Greco L.S. Starvation resistance in juvenile freshwater crayfish. *Aquatic Biology*. 2012. № 16. P. 287–297.

<sup>29</sup> Dyudyaeva O.A., Bekh V.V. Food security of domestic aquaculture products as a guaranteed prerequisite for entering foreign markets. *Aquatic bioresources and aquaculture*. 2020. № 1. P. 44–60.

<sup>30</sup> Stumpf L., Sarmiento Cárdenas P.N., Timpanaro S., López Greco L. Feasibility of compensatory growth in early juveniles of «red claw» crayfish *Cherax quadricarinatus* under high density conditions. *Aquaculture*. 2019. № 510. P. 302–310.

<sup>31</sup> Takahashi K., Nagayama T. Shelter preference in the Marmorokrebs (marbledcrayfish). *Behaviour*. 2016. № 153(15). P. 1913–1930.

Providing feed accounts for 70% of the operating costs in aquaculture. Feed efficiency is a critical factor for aquaculture worldwide.

A significant number of studies on the nutrition of red claw crayfish of different age groups have been published. Young crayfish must be provided with a variety of food, which includes detritus, animal (zooplankton, tubers, fish, shrimps) and plant (chara) components. The generally accepted structure of the diet of crayfish is 70% plant and 30% animal food.

With age, the need for red-clawed crayfish in proteins decreases. Juveniles need from 31 to 34% of protein, individuals weighing more than 50 g need 25.6%. Lipids are also an important component of the diet that affects the growth, development and health of crayfish. Unlike protein, the need for lipids does not change with age. Carbohydrates perform an energy function, participate in the formation of steroids and fatty acids, and also contribute to the accumulation of glycogen and chitin synthesis. A mandatory element of feeding should be the leaves of the common oak *Quercus robur* (Linnaeus, 1758) in unlimited quantities. Due to the presence of tannins in them, they serve as natural antibiotics for crayfish<sup>32</sup>.

Given the geography of distribution of Australian red claw crayfish, considerable attention must be paid to quarantine and preventive measures. Disease prevention of *Cherax quadricarinatus* consists in: creating optimal sanitary and hygienic conditions during cultivation; compliance with the biotechnological requirements of growing (planting density, ensuring adequate feeding); ensuring the optimal hydrochemical regime; preventing the spread of infectious diseases (ichthyopathological supervision of the transportation of live crayfish); preventive quarantine; preventive culling, isolation of patients and disposal of dead individuals; preventive disinfection and disinfestation<sup>33</sup>.

Therefore, working out the basic biotechnological principles and creating a resource-saving technology for reproduction of *Cherax quadricarinatus* in artificial conditions on the territory of our country are quite relevant. Investments in crustacean aquaculture, provided the latest technologies are implemented, can pay off within the first two years.

## CONCLUSIONS

The development of aquaculture of Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* is possible only with scientific justification and use of «best

---

<sup>32</sup> Hou S., Li J., Zhang Y., Huang J., Wu X., & Cheng Y. Effects of fish meal replacement with protein mixtures on growth, gonad development and amino acid composition of pre-adult red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana*. 2021. № 94(10). P. 1161–1186.

<sup>33</sup> Saoud I.P., Ghanawi J, Thompson K.R, Webster C.D. A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Journal of the World Aquaculture Society*. 2013. № 44. P. 1–29.



practices», which in the future provide for increased efficiency, profit and further expansion of the crustacean industry on the territory of Ukraine.

## SUMMARY

In the conditions of the modern development of the world fishery, the production of hydrobionts shows a steady tendency to decrease in volume, which determines the prospects of breeding hydrobionts, including crustaceans, in artificial conditions. The great demand on the world market for edible species of crustaceans, as well as the deterioration of the ecological conditions of water bodies, led to a decrease in their natural reserves. Aquaculture of crustaceans is a relatively new direction, which has good prospects both from the ecological and food points of view, including in our country. Crustaceans are a valuable source of protein. For the maximum effect of growing tropical species of crayfish, namely – *Cherax quadricarinatus*, it is necessary to know the peculiarities of morphology, critical periods of ontogenesis, peculiarities of cultivation. Studying the best practices for growing decapod crayfish will contribute to the development of technological schemes for growing introduced species in artificial conditions for the maximum resource-saving effect. In the case of crayfish cultivation using industrial aquaculture methods, it is necessary to reduce the use of clean water as much as possible, to obtain ecologically clean products in the shortest possible time.

## Bibliography

1. Haubrock P.J., Oficialdegui F.J., Zeng Y., Patoka J., Yeo D.C.J., Kouba A. The redclaw crayfish: A prominent aquaculture species with invasive potential in tropical and subtropical biodiversity hotspots. *Reviews in Aquaculture*. 2021. № 13(3). P. 1488–1530.
2. Boyd C.E., McNevin A.A., Davis R.P. The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food Security*. 2022. № 14. P. 805–827.
3. FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome.
4. Patoka J., Wardiatno Y., Mashar A., Wowor D., Jerikho R., Takdir M., Purnamasari L., Petrtyl M., Kalous L., Kouba A., Blaha M. Redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868), widespread throughout Indonesia. *BioInvasions Records*. 2018. № 7(2). P. 185–189.
5. Hrynevych N.E., Zharchynska V.S., Svitelskyi M.M., Khomiak O.A., Sliusarenko A.O. Promising object of aquaculture of crustaceans *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868): biology, technology (review). *Aquatic bioresources and aquaculture*. 2022. № 1. P. 47–62.

6. Nanda P.K., Das A.K., Dandapat P., Dhar P., Bandyopadhyay S., Dib A.L., Lorenzo J.M., Gagaoua M. Nutritional aspects, flavour profile and health benefits of crab meat based novel food products and valorisation of processing waste to wealth: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. № 112. P. 252–267.
7. Crandall K.A., Grave S.D. An updated classification of the freshwater crayfishes (*Decapoda: Astacidea*) of the world, with a complete species list. *Journal of Crustacean Biology*. 2017. № 37(5). P. 615–653.
8. Naranjo J., Vargas-Mendieta M., Hernandez-Llamas A., Mercier L. Dynamics of commercial size interval populations of female redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) reared in gravel-lined ponds: A stochastic approach. *Aquaculture*. 2017. № 484. P. 82–89.
9. Tacon A.G.J., Metian M. Fish matters: importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*. 2013. № 21(1). P. 22–38.
10. Zheng-Bin T., Saadiah I., Chaiw-Yee T. Comparative study on the nutritional content and physical attributes of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) meats. Preprint (Version 1) 2022.
11. Jones C.M., Valverde C. Development of mass production hatchery technology for the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Freshwater Crayfish*. 2020. № 25(1). P. 1–6.
12. Arias A., Torralba-Burrial A. (2021). First record of the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) on the Iberian Peninsula. *Limnetica*. 2021. № 40. P. 33–42.
13. Kawai T., Policar T., Kouba A. Gill morphology and formulae of European Astacidae. *Freshwater Crayfish*. 2021. № 26(2). P. 127–137.
14. Norshida I., Mohd Nasir MSA, Khaleel A.G., Sallehuddin A.S., Syed Idrus S.N., Istiqomah I., Venmathi Maran B.A., Ahmad S.K. First wild record of Australian redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in the East Coast of Peninsular Malaysia. *BioInvasions Records*. 2021. № 10(2). P. 360–368.
15. Cheng S., Wei Y., Jia Y., Li F., Chi M., Liu S., Zheng J., Wang D. A study on primary diets for juveniles of red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Research*. 2020. № 52(5). P. 2138–2145.
16. Rigg D.P., Courtney R.L., Jones C.M., Seymour J.E. Morphology and weight-length relationships for the first six instars of *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868). *Freshwater Crayfish*. 2021. № 26(1). P. 9–16.
17. Sales J. Prediction of digestible protein and lipid contents of crustacean feeds. *Aquaculture Nutrition*. 2010. № 16(6). P. 559–568.

18. Ghanawi J., Saoud I. P. Molting, reproductive biology, and hatchery management of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Aquaculture*. 2012. № 358–359. P. 183–195.
19. Neelima H., Srinivasa R.B., Ramachandra R.P. Crustacean molting: regulation and effects of environmental toxicants. *Journal of Marine Science: Research & Development*. 2017. № 7(5). P. 236.
20. Daubnerová I., Žitňan D. Ecdysis triggering hormone. *Handbook of Hormones (Second Edition)*. 2021. № 2. P. 829–831.
21. Nhut T.M., Mykles D.L., Elizur A., Ventura T. Ecdysis triggering hormone modulates molt behaviour in the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*, providing a mechanistic evidence for conserved function in molt regulation across Pancrustacea. *General and Comparative Endocrinology*. 2020. № 298(1). P. 113556.
22. Fasya A.H. Study of the relationship pattern of ecdysis with age of freshwater lobster *Cherax quadricarinatus* aged 76 days. *Contributions of Central Research Institute for Agriculture*. 2021. № 15(3). P. 78–82.
23. Zharchynska V.S., Hrynevych N.E. Improvement of crustacean rearing technology using the example of *Cherax quadricarinatus*. *Scientific Bulletin of the LNUVMB named after S.Z. Gzhitskyi*. 2022. № 24(96). P. 16–23.
24. Calvo N.S., Stumpf L., Sacristan H.J. Energetic reserves and digestive enzyme activities in juveniles of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* nearby the point-of-no-return. *Aquaculture*. 2013. № 416–417. P. 85–91.
25. Honcharova O., Sekiou O., Kutishchev P. Physiological and biochemical aspects of adaptation-compensatory processes of hydrobionts under the effect of technological factors. *Fisheries science of Ukraine*. 2021. № 4(58). P. 101–114.
26. Grynevych N.E., Zharchynska V.S., Shariga V.S. The value of abiotic factors during the cultivation *Cherax quadricarinatus*. *Book of abstracts of the I International Scientific and Technical Conference «Water quality: biomedical, technological, agro-industrial and environmental aspects»* (Ternopil, 20–21 May 2021). Ternopil, 2021. P. 74–75.
27. Thompson K.R., Muzinic L.A., Yancey D.H., Webster C.D., Rouse D.B., Xiong Y. Growth, processing measurements, tail meat yield, and tail meat proximate composition of male and female Australian red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, stocked into earthen ponds. *Journal of Applied Aquaculture*. 2004. № 16(3/4). P. 117–129.
28. Calvo N.S., Tropea C., Anger K., Lopez-Greco L.S. Starvation resistance in juvenile freshwater crayfish. *Aquatic Biology*. 2012. № 16. P. 287–297.

29. Dyudyaeva O.A, Bekh V.V. Food security of domestic aquaculture products as a guaranteed prerequisite for entering foreign markets. *Aquatic bioresources and aquaculture*. 2020. № 1. P. 44–60.
30. Stumpf L., Sarmiento Cárdenas P.N., Timpanaro S., López Greco L. Feasibility of compensatory growth in early juveniles of «red claw» crayfish *Cherax quadricarinatus* under high density conditions. *Aquaculture*. 2019. № 510. P. 302–310.
31. Takahashi K., Nagayama T. Shelter preference in the Marmorkrebs (marbledcrayfish). *Behaviour*. 2016. № 153(15). P. 1913–1930.
32. Hou S., Li J., Zhang Y., Huang J., Wu X., & Cheng Y. Effects of fish meal replacement with protein mixtures on growth, gonad development and amino acid composition of pre-adult red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana*. 2021. № 94(10). P. 1161–1186.
33. Saoud I.P., Ghanawi J, Thompson K.R, Webster C.D. A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Journal of the World Aquaculture Society*. 2013. № 44. P. 1–29.

**Information about the authors:**

**Hrynevych Nataliia Yevheniivna,**

Doctor of Veterinary Sciences,

Professor at the Department of Ichthyology and Zoology

Bila Tserkva National Agrarian University

3-a, Heroiv Chornobylia Str., Bila Tserkva, Kyiv region, 09111, Ukraine

**Zharchynska Valeriia Serhiivna,**

Postgraduate Student,

2nd year of full-time education,

Assistant at the Department of Ichthyology and Zoology

Bila Tserkva National Agrarian University

3-a, Heroiv Chornobylia Str., Bila Tserkva, Kyiv region, 09111, Ukraine

## ТЕХНОЛОГІЯ ПІДГОТОВКИ МЕДОНОСНИХ БДЖІЛ ДО ПЕРІОДУ ГІПОБІОЗУ

Ковальський Ю. В., Дружбяк А. Й., Ковальська Л. М.

### ВСТУП

Після закінчення медозбору в медоносних бджіл починається період підготовки до зимівлі. Прийнято вважати що саме з цього часу стартує новий сезон у бджільництві. Він характеризується тим що бджолині сім'ї зменшують кількість мешканців. При цьому, через відсутність достатньої кількості нектароносних рослин зменшується кількість вильотів у пошуках корму. Інстинкт збереження настільки загострюється що з гнізда виганяють трутнів. Знижується інтенсивність відкладання яєць маткою. Нагромадження запасу поживних речовин спрямовано тільки для того щоб пережити важкий період відсутності кормових ресурсів. У розрізі річного циклу деякі автори вважають що розпочинається третій період у житті бджолиної сім'ї. Протягом нього робочі бджоли споживатимуть корми, які заготували влітку. При зниженні температури зовнішнього середовища медоносні бджоли вимушені гуртуватись у тісну біологічну масу-клуб. До біологічних особливостей належить кілька особливостей, які притаманні тільки цим суспільно корисним комахам. Зокрема цікавим є те, що окремо, за межами сім'ї, бджола не здатна існувати. За температури зовнішнього середовища нижче 8-10°C бджоли не здійснюють льотної активності. У зимовий період усі мешканці гнізда живляться переважно вуглеводним кормом. При цьому усі неперетравні рештки утримуються у задньому відділі кишечника аж до весни. Тому тривалість безобльотного періоду має критично важливе значення. Від впровадження необхідних технологічних прийомів залежить майбутня зимівля медоносних бджіл. У даному розділі монографії ми спробуємо поверхнево вказати на основні фактори, що впливають на гіпобіоз. Їх правильне використання дасть змогу практикуючим пасічникам зберегти бджіл і отримати більшу кількість продукції.

### 1. Зміни в організмі медоносних бджіл при підготовці до гіпобіозу

Протягом року для медоносних бджіл найбільш характерними є два періоди, упродовж яких життєдіяльність їх сімей має особливо виражені відмінності. Це активний період розвитку та розмноження і період діапаузи, під час якого бджоли перебувають у стані гіпобіозу. Генерації бджіл, які проводять свою життєдіяльність у ці періоди, мають суттєві

відмінності у своїй функціональній активності а також характерні особливості фізіологічного розвитку.<sup>1</sup> У першу чергу це проявляється в зміні інтенсивності метаболічних процесів робочих особин сім'ї. При цьому здійснюється поступові зміни фізіологічних процесів в організмі медоносних бджіл. Підготовка до періоду гіпобіозу в біологічному аспекті передбачає певну перебудову життєдіяльності сім'ї. У першу чергу зупиняється розвиток сім'ї внаслідок припинення яйцекладки матки та вирощування розплоду. У гнізді перестають з'являтися нові генерації робочих особин, а сила сім'ї поступово зменшується оскільки гинуть бджоли старшого віку.<sup>2</sup> Чоловічі особини видаляються з гнізда, тобто на час зимівлі бджолосім'ю можна розглядати як нецілісну біологічну одиницю. Проте такі зміни не являються відхиленням у розвитку, а є одним із набутих у процесі еволюції біологічних механізмів, що забезпечує виживання бджіл у складних умовах зимівлі, при температурах поза нижньою межею вітального діапазону. Це також забезпечило поступову експансію медоносних бджіл у широті з кліматичними умовами, фактично не придатними для їх життєдіяльності. Перебування бджіл за низьких температур у щільному зимовому клубі зумовлює суттєве сповільнення газообміну, внаслідок чого відбувається підвищення концентрації (до 5%) двоокису карбону та зниження постачання кисню, особливо до центральної частини клубу.<sup>3</sup> Це спричиняє гальмування процесів обміну речовин, що має позитивний вплив на життєздатність комах. Реакцією на такі зміни газового складу середовища для підтримання необхідного рівня інтенсивності обміну речовин є часткова зміна типу дихання. Якщо метаболізм цукрів у бджіл літньої генерації відбувається за участі ензимів оксидаз та використання в якості акцептора молекулярного кисню (O<sub>2</sub>), то бджоли які перебувають у зимовому клубі більшим чином використовують кисень пов'язаний з ліпідами. У такому випадку каталізаторами відщеплення від субстрату протонів і електронів гідрогену виступають ферменти дегідрогенази. Тобто виживання бджіл у період гіпобіозу, в умовах перебування в зимовому клубі, забезпечується заміною аеробного шляху

---

<sup>1</sup> Döke, M., Frazier M., Grozinger C. Overwintering honey bees: Biology and management. *Curr. Opin. Insect Sci.* 2015. Vol. 10, P. 185–193. DOI: [org/10.1016/j.cois.2015.05.014](https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.05.014).

<sup>2</sup> Calovi M., Grozinger C., Miller D. Summer weather conditions influence winter survival of honey bees (*Apis mellifera*) in the northeastern United States. *Sci Rep.* 2021. Vol. 11, P. 1553. DOI: [org/10.1038/s41598-021-81051-8](https://doi.org/10.1038/s41598-021-81051-8).

<sup>3</sup> Bahreini R., Currie R. The Potential of Bee-Generated Carbon Dioxide for Control of Varroa Mite (*Mesostigmata: Varroidae*) in Indoor Overwintering Honey bee (*Hymenoptera: Apidae*) Colonies. *J Econ Entomol.* 2015. Vol. 108, P. 2153-67. DOI: [10.1093/jee/108.4.2153](https://doi.org/10.1093/jee/108.4.2153).

метаболізму на анаеробний.<sup>4</sup> Виходячи з цього важливого значення набуває накопичення ліпідів у тілі бджіл, які формуватимуть склад сім'ї в зимовий період. Енергія, що витрачається на метаболічні процеси, в організмі бджоли, в основному, вивільняється при біохімічному окисленні цукрів (як основного джерела енергії) і в меншій мірі інших поживних речовин. Хімічна частина цієї енергії, акумульована в макроергічних зв'язках АТФ, використовується на проходження фізіолого-біохімічних процесів в організмі бджіл, а також перетворюється в теплову енергію. Розподіл енергії відбувається за потреби у багатьох напрямках. Вивчення умов, що сприяють зниженню витрат енергії, має великий практичний інтерес у бджільництві, оскільки в багатьох випадках від цього залежить економічний результат роботи. Один з напрямків витрати енергії організмом бджоли вважається робота слинних залоз внаслідок переробки цукрового сиропу. Їхня функція полягає у синтезі ензимів гідролітичного спектру дії. При цьому цукроза сиропу розщеплюється до глюкози та фруктози під впливом ензиму інвертази яка секретується гіпофаренгіальними залозами бджіл. Продовження процесу гідролізу цукрози відбувається в середньому відділі кишечника під дією інвертази епітеліальних клітин середньої кишки бджіл. Глюкоза і фруктоза безпосередньо всмоктується епітеліальними клітинами задньої частини середньої кишки без додаткової обробки.

Одним із дискусійних питань є вплив процесу переробки бджолами цукрового сиропу під час підготовки зимових кормових запасів на фізіологічний стан організму робочих особин, а, отже, на рівень підготовки бджолиних сімей до зимівлі в цілому.<sup>5</sup> З іншого боку маловивченим є питання впливу інтенсивності загодівлі бджіл до періоду гіпобіозу цукровим сиропом на якість підготовки зимових кормових запасів.<sup>6</sup> А в практичному бджільництві воно завжди актуальне, оскільки одним із найбільш проблемних технологічних етапів є загодівля бджолиних сімей до зимівлі.<sup>7</sup> Згідно літературних джерел

---

<sup>4</sup> Kojić D., Purać J., Nikolić T., Orčić S. Oxidative stress and the activity of antioxidative defense enzymes in overwintering honey bees. *Entomol. Gen.* 2019. Vol. 39, P. 33–44. DOI: 10.1127/entomologia/2019/0743.

<sup>5</sup> Brodschneider R. Multi-country loss rates of honey bee colonies during winter 2016/2017 from the COLOSS survey. *J. Apic. Res.* 2018. Vol. 57, P. 452–457. DOI: org/10.1080/00218839.2018.1460911.

<sup>6</sup> Akyol E., Yeninar H., Sahinler N., Guler A. The Effects of Additive Feeding and Feed Additives Before Wintering on Honey Bee Colony Performances, Wintering Abilities and Survival Rates at the East Mediterranean Region. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2006. Vol. 9, P. 589-592. DOI: 10.3923/pjbs.2006.589.592.

<sup>7</sup> Sammataro D., Weiss M. Comparison of productivity of colonies of honey bees, *Apis mellifera*, supplemented with sucrose or high fructose corn syrup. *J Insect Sci.* 2013. Vol. 13, 19 p. DOI: 10.1673/031.013.1901.

відомо, що переробка робочими особинами осінньої генерації у великих кількостях нектару під час інтенсивного пізньолітнього медозбору, а також цукрового сиропу при формуванні кормових запасів під час загодівлі сімей до зимівлі, призводять до їх фізіологічного зношення (або біологічного старіння).<sup>8</sup> Це проявляється у зменшенні кількості азоту в тілі бджіл, дегенерації глоткових залоз, жирового тіла, яєчників тощо, оскільки вимагає посиленого функціонування залоз, що секретують амілолітичні ферменти (в основному інвертази, необхідні для інвертування поліцукрів нектару чи цукрози цукрового сиропу до простих цукрів – глюкози та фруктози). Розвиток та активність таких залоз напряму пов'язана зокрема з білковим живленням бджіл. Тому по закінченні загодівлі сімей до зимівлі та формування запасів корму в робочих особин, які приймали участь у цьому процесі спостерігалось зниження вмісту в тілі загального азоту та білкових речовин. Поряд з функціональною активністю комах, пов'язаною з переробкою цукрового сиропу під час підготовки та формування зимових кормових запасів, на рівень розвитку жирового тіла (загального вмісту сирого жиру в тілі) суттєвий вплив виявляє процес вирощування у гніздах розплоду (особливо годівля личинок молодшого віку). Згідно результатів проведених досліджень, із підвищенням інтенсивності вирощування розплоду, спостерігалось зменшення вмісту сирого жиру у тілі комах. У бджіл осінньої генерації, які під час підготовки до зимівлі не вирощували розплоду, а також не переробляли цукрового сиропу, масова частка сирого жиру в тілі на 19% була більшою порівняно з бджолами, які активно вирощували розплід ( $p < 0,01$ ).

У синтезі компонентів маточного молочка для годівлі личинок беруть участь мандибулярна та гіпофарингіальна залози бджіл молодшого віку, які вимагають інтенсивного їх живлення білковими компонентами корму. За їх обмеженої кількості у кормових запасах секреторна діяльність залоз відбувається за рахунок енергетичних резервів, депонованих в основному в клітинах жирового тіла, що в кінцевому результаті призводить до зменшення вмісту загального жиру у тілі комах. За умови використання у якості зимових кормових запасів переробленого бджолами цукрового сиропу, якість підготовки такого корму найбільшим чином визначається ступенем інвертування цукрів. Даний показник, у свою чергу, великою мірою визначається термінами проведення загодівлі та інтенсивністю згодовування цукрового сиропу. Отримані результати проведених досліджень показують, що інтенсивність загодівлі бджолиних сімей у серпні не виявляє суттєвого

---

<sup>8</sup> Wang H., Liu C., Liu Z., Wang Y. The different dietary sugars modulate the composition of the gut microbiota in honeybee during overwintering. BMC Microbiol. 2020. Vol. 17, 61 p. DOI: 10.1186/s12866-020-01726-6.



впливу на ступінь інвертування цукрів (рівень гідролізу) у підготовленому до періоду гіпобіозу кормі. По закінченні формування кормових запасів (переробки цукрового сиропу, складання у стільники та запечатування комірок) зразки корму від дослідних сімей, яким згодовували цукровий сироп у дозах по 1,5; 3 та 9 л, мали практично однакові якісні показники: вміст сухого залишку у межах 80,22–81,29%, кислу реакцію (рН 4,18–4,53) та ступінь гідролізу корму (73,74–80,73%).

На фізіологічний стан бджіл при підготовці до зимівлі найбільший вплив виявляють особливості інтер'єрних показників розвитку.<sup>9</sup> Ступінь розвитку молочнокислих бактерій в кишечнику бджоли відіграють велику роль у тривалості життя.<sup>10</sup> При цьому негативний вплив на показники гіпобіозу має рівень зараження сім'ї. З огляду на високий патологічний вплив кліща *Varoa destructor* та мікроспоридії *Nosema* не менш важливим заходом є максимальне усунення цих патогенів.<sup>11,12</sup>

Відмінності у фізіологічному стані робочих особин при підготовці до періоду гіпобіозу проявляються у кращому розвитку окремих внутрішніх органів. Найбільш характерною ознакою бджіл осінньої генерації є збільшення маси тіла, зумовленої суттєво вищим (у 2–2,5 рази) рівнем розвитку жирового тіла, порівняно з бджолами літньої генерації. Водночас у них відмічено значно кращий розвиток гіпофарингіальних залоз. За рівнем розвитку цих органів бджоли осінньої генерації набувають ознак фізіологічно молодих особин, які функціонально не приймали участі у різних процесах життєдіяльності сім'ї: вирощування розплоду, принесення нектару, переробка кормів. Фізіологічний стан гіпофарингіальних залоз та жирового тіла є найбільш об'єктивними показниками підготовки особин бджолиної сім'ї до періоду гіпобіозу. Набуття здатності великої тривалості життя є одним із визначальних чинників якісної підготовки бджіл до зимівлі.<sup>13</sup>

---

<sup>9</sup> Maes Patrick W. et al. Overwintering Honey Bee Colonies: Effect of Worker Age and Climate on the Hindgut Microbiota Insects. 2021. Vol. 12, 224 p. DOI: 10.3390/insects12030224.

<sup>10</sup> Li C, Tang M, Li X, Zhou X. Community Dynamics in Structure and Function of Honey Bee Gut Bacteria in Response to Winter Dietary Shift. mBio. 2022. Vol. 26, P. 456-465. DOI: 10.1128/mbio.01131-22.

<sup>11</sup> Beyer M. Winter honey bee colony losses, *Varroa destructor* control strategies, and the role of weather conditions: Results from a survey among beekeepers. Res. Vet. Sci. 2018. Vol. 118, P. 52–60. DOI: org/10.1016/j.rvsc.2018.01.012.

<sup>12</sup> Steinmann N., Corona M., Neumann P., Dainat B. Overwintering is associated with reduced expression of immune genes and higher susceptibility to virus infection in honey bees. PLoS ONE. 2015. Vol. 10, 0129956 p. DOI: 10.1371/journal.pone.0129956.

<sup>13</sup> Amdam G., Omholt S. The regulatory anatomy of honeybee lifespan. J. Theor. Biol. 2002. Vol. 216, P. 209–228. DOI: 10.1006/jtbi.2002.2545.

## **2. Характеристика факторів, які впливають на процес гіпобіозу в медоносних бджіл**

На процес гіпобіозу впливають сукупність факторів, які поділяються на основні та додаткові. У сучасній спеціалізованій літературі недостатньо даних, що стосуються питання термінів народження особин, які повинні формувати основу зимового клубу. Актуальним залишається питання вікового складу бджіл літньої та осінньої генерацій. Вирішення цього питання дає змогу оптимізувати умови їх зимівлі. З цією метою було проведено серію досліджень. Експериментальна частина виконана на базі відділу бджільництва кафедри технології виробництва і переробки продукції дрібних тварин Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького впродовж у 2021-22 років. Апробація досліджень здійснювалася в умовах приватних фермерських господарств медово-товарного напрямку спеціалізації у Львівській області. На першому етапі дослідження було проведено формування різних за силою піддослідних груп бджолиних сімей карпатської породи. Сім'ї які обсиджували 4 вулички прийнято за слабкі, 5 вуличок – середні, 7 вуличок – сильні. Кожна з груп налічувала по 6 сім'ї, які утримувалися у багатокорпусних вуликах Лангстрота-Рута. У свою чергу кожна група поділялась на дві підгрупи: 3 контрольні і 3 дослідні. У контрольних підгрупах маток було поміщено в ізолятори з метою уникнення наявності розплоду. У дослідних підгрупах здійснили збільшення кількості відкритого розплоду. При цьому кожна сім'я дослідної групи отримала дві рамки відкритого розплоду у віці 1-2 доби. Розплід одержали з допоміжних, клінічно здорових сімей. Для уникнення впливу аліментарного фактору корм отримали також з цих сімей. Для встановлення вікової ідентифікації робочих особин в кожній із піддослідних сімей, з допомогою маркерів різних кольорів, проводилося 5-кратне мічення (3 рази в серпні та 2 рази у вересні) по 900 бджіл добового віку. Кожній з п'яти генерацій бджіл відповідав свій індивідуальний колір мітки. Після мічення бджіл повертали в піддослідні сім'ї по 150 особин в кожную. Контрольний облік живих мічених бджіл, які входили у гіпобіоз, проводили 1 грудня. З цією метою усіх бджіл піддослідних сімей знерухомлювали за допомогою низької температури. Для цього їх струшували в паперові пакети, які на 15 хвилин поміщали в морозильну камеру. Після підрахунку бджіл, з метою відновлення вітальної температури, їх поміщали назад у пакети і утримували протягом години за кімнатної температури. Після відновлення рухової активності бджіл витрушували з пакетів у вулики з підготовленими кормами.

У перший рік дослідження встановлено, що генерація бджіл, яка вийшла з комірок у третій декаді червня, до початку безобльотного періоду не доживає. При цьому максимальною тривалістю відрізнялись бджоли які народились у вересні. Метою подальших досліджень слугувало визначення впливу різноманітних факторів на деякі фізіологічні показники. Для об'єктивності отриманих результатів дослід повторили два роки поспіль. Літературні джерела вказують, що сила сімей вважається основним фактором, який впливає на якісні показники гіпобіозу.<sup>14</sup> Однак, з практичних спостережень таке твердження, на нашу думку, є суб'єктивним. Відомо, що у господарствах здійснювалась успішна зимівля різних за силою сімей, у тому числі і слабких. У той час як сильні сім'ї могли протягом гіпобіозу ослабнути або загинути. Тому фактор сили сім'ї може залежати від вікового наповнення зимового клубу. Ми задались метою вивчити вплив наявності відкритого розплоду на збереженість особин, які будуть зимувати. Слід зазначити, що відсутність розплоду у контрольних сім'ях призводить до значного збереження бджіл. Однак незалежно від сили сім'ї існують різноманітні чинники, які впливають на тривалість життя бджіл. Зокрема в обліковий період станом на 1 грудня у контрольній групі виявлено від 104 до 141 бджіл різного терміну народження. Динаміка смертності мічених особин вказує на те, що сила сімей у дослідженнях має додатковий вплив. У вересні у контрольних сім'ях відсутність розплоду впливало на зникнення мічених бджіл. При цьому зафіксовано, що мічені бджоли були виявлені у сім'ях, які не приймали участі у досліді. Це може вказувати на те, що в осінній період на промислових пасіках, які налічують більше 100 сімей спостерігається міграція бджіл. Вона великим чином вважається негативним фактором. За такого явища крім, ослаблення основних сімей, бджоли можуть бути переносниками патогенних та умовно патогенних мікроорганізмів. При цьому ослаблені відводки могу у період гіпобіозу загинути. Щоб уникнути такого явища рекомендуємо стаціонарні точки, при можливості, розділяти на кілька груп. У контрольній групі генерація бджіл, яка вийшла з комірок 30 вересня, незважаючи на те, що вона не приймала участі у вирощуванні розплоду та переробці цукрового сиропу показала найнижчі показники тривалості життя. Відомо, що така закономірність проявляється внаслідок того, що покоління бджіл які народились у жовтні не встигають у повній мірі підготуватись до зими. У їхньому організмі системи, що відповідатимуть за опірність організму є неповністю сформовані. У розрізі фізіолого морфологічних досліджень

---

<sup>14</sup> Stalidzans E., Zacepins A., Kviešis A., Brusbardis V. Dynamics of Weight Change and Temperature of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) Colonies in a Wintering Building With Controlled Temperature. *J Econ Entomol.* 2017. Vol. 110, P. 13-23. DOI: 10.1093/jee/tow282.

повідомляється що в стернальному та перикардіальному жировому тілі виявлено зниження вмісту білково-жирових компонентів. При цьому розміри трофоцитів є меншими. Це негативно впливає на показники тривалості життя оскільки розвиток жирового тіла має прямопропорційний вплив. Зниження показників тривалості життя у контрольній групі можна пояснити ще тим, що робочі бджоли виконують роботи по нагромадженню у гнізді запасів перги. Ця робота вимагає також затрат енергій на льотну активність. При цьому, формування перги та її дозрівання здійснюється за допомогою бджіл. До квіткового пилку бджоли додають секрети слинних залоз і в такий спосіб відбувається консервація і зберігання протеїнового корму. Рівень забезпечення цим кормом також має значний вплив при вирощуванні розплоду. Однак вплив цього фактора у дослідженнях не враховувався. Додаткове навантаження на організм бджіл контрольної групи пов'язане з витратами на підтримання оптимальних параметрів мікроклімату гнізда.<sup>15</sup> Бджоли, на відміну від деяких комах і ссавців не впадають у стан анабіозу. Прийнято вважати, що цей процес має назву гіпобіоз. У цей період їхня активність знижується. Щоб протидіяти мінусовим температурам, які в Західному регіоні України становлять -20...-25°C організм повинен нагромадити запас пластичних речовин, який протягом зими за потреби витрачається. Тому уся енергія спрямована для того щоб пережити безобльотний період до часу коли температура зовнішнього середовища становити +14°C. Тому при підготовці до гіпобіозу важливим є підготовка організму робочих бджіл.<sup>16</sup> Цей відрізок часу припадає на серпень та вересень. Однак саме у цей період в сім'ях бджіл наявний відкритий розплід. Поширена хибна думка про те, що велика кількість розплоду у вересні сприятиме позитивній зимівлі. Дані багаторічних досліджень, які ми провели вказують на зворотне. Так у дослідній групі вирощування відкритого розплоду призводить до значного зниження тривалості життя. Станом на 1 грудня виявлена закономірність, яка полягає у тому, що бджоли у сім'ях різної сили гинуть залежно від термінів народження. Найменше виявлено бджіл, які народились влітку у першій декаді серпня. У кожній групі було наявно по 12-20 бджіл. Очевидно, що значні ресурси організму витрачається для продукування маточного молочка. Його секреція, згідно повідомлень ряду авторів, призводить скорочення тривалості

---

<sup>15</sup> Switanek M., Crailsheim K., Truhetz H. Brodschneider, R. Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. *Sci. Total Environ.* 2017. Vol. 579, P. 1581–1587. DOI: [org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.178](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.178).

<sup>16</sup> Knoll S., Pinna W., Varcasia A., Scala A. The honey bee (*Apis mellifera* L., 1758) and the seasonal adaptation of productions. Highlights on summer to winter transition and back to summer metabolic activity. A review. *Livest. Sci.* 2020. Vol. 235, 104011 p. DOI: [10.1016/j.livsci.2020.104011](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104011).

життя. Поживні речовини маточного молочка представлені, у тому числі, протеїнами які залучені у метаболізм бджоли для його синтезу. Тому залишається важливим питання забезпечення бджолиних сімей достатньою кількістю високоякісних кормів.<sup>17</sup> У проведених дослідженнях використано молодих однорічних маток. Вони, на відміну від маток старшого віку, мають тенденцію зберігати високий рівень яйцекладки. Дані отриманих досліджень, які демонструють збереженість бджіл у залежності від сили представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Збереженість робочих бджіл за впливу сили сім'ї, (M±m)**

Дата виходу з комірочка	К-сть бджіл станом на 1 грудня			
	контрольна група	коефіцієнт збереження, %	дослідна група	коефіцієнт збереження, %
Сильні сім'ї				
1 серпня	128,0±9,88	85,3	18,3±1,08***	12,2
15 серпня	133,0±11,61	88,6	34,0±2,61**	22,6
30 серпня	130,0±11,85	86,6	81,0±5,77***	54,0
15 вересня	141,6±6,96	94,4	140,6±6,23	69,0
30 вересня	117,3±5,23	78,2	98,6±7,61*	65,7
Середні сім'ї				
1 серпня	130,0±11,11	86,6	15,0±1,31***	10,0
15 серпня	125,3±10,36	83,5	33,3±3,01***	22,2
30 серпня	134,6±12,45	89,7	72,6±5,86***	48,4
15 вересня	140,6±17,71	93,7	125,6±7,44*	83,7
30 вересня	120,0±11,06	80,0	101,0±9,67***	67,3
Слабкі сім'ї				
1 серпня	127,0±12,3	84,6	13,0±1,45***	8,6
15 серпня	121,3±9,82	80,8	30,0±2,09***	20,0
30 серпня	125,6±10,09	83,7	65,0±4,79***	43,3
15 вересня	137,6±7,21	91,7	113,0±9,56***	75,3
30 вересня	104,0±8,06	69,3	89,6±10,31***	59,7

<sup>17</sup> Guler A., Ekinci D. Effects of Feeding Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) With Industrial Sugars Produced by Plants Using Different Photosynthetic Cycles (Carbon C3 and C4) on the Colony Wintering Ability, Lifespan, and Forage Behavior. J Econ Entomol. 2018. Vol. 26, P. 2003-2010. DOI: 10.1093/jee/toy189.

За рахунок того, що кількість відкритого розплоду була подвоєна тривалість бджіл особин, які народились 15 серпня скоротилась у 4-5 разів залежно від сили. Коефіцієнт збереження цієї генерації коливається в межах від 20 до 23%. Тому у практичному аспекті ці спостереження мають визначальний вплив на якість зимівлі. Особливо актуальними вони є для господарств де спостерігаються різні умови утримання<sup>18,19</sup>.

У більшості господарств поповнення кормових запасів проводять цукровим сиропом. За таких умов матки починають збільшувати інтенсивність яйцекладки. При цьому відомі випадки, коли годівлю бджіл починають у вересні та навіть у жовтні. Таке стимулювання та поява відкритого розплоду, як доводять дослідження, має негативний характер. Негативні наслідки зимівлі виявлено у тих медово-товарних пасіках, які використовують пізні медоноси. Зокрема такі рослини як золотарник (*Solidago canadensis*) і верес (*Calluna*) цвітуть у серпні та вересні. У якості рекомендацій можна пропонувати пасічникам не проводити відкачування меду з сімей які мають у гнізді повномедні рамки. Позитивна тенденція до збереження проявляється з бджолами, які народились 30 вересня. Причому коефіцієнт збереження виявився вищим у бджіл сильних сімей. Таке явище можна трактувати тим, що за більшої кількості особин у сім'ї бджоли мають менше навантаження. У такому випадку на кожну личинку припадає більша кількість бджіл-годувальниць.

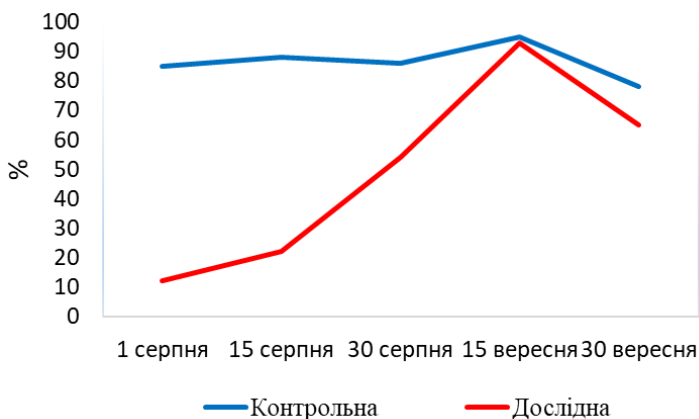
Ці результати дають уяву про те як впливає наявність відкритого розплоду на тривалість життя. При її огляді слід звернути увагу на стрімке підвищення кількості особин, які вийшли з комірок у період 15 вересня. Дані щодо впливу збереження бджіл при підготовці до зимівлі представлені на діаграмах 1 та 2.

Аналогічна картина спостерігається у тих сім'ях, які живуть у господарствах більшості пасічників східної Європи. Тому у технологічному аспекті слід звертати на терміни поповнення кормових запасів. Адже від їх термінів буде залежати кількість розплоду. Згідно діаграми оптимальним часом закінчення вирощування розплоду можна вважати період з третьої декади серпня по першу декаду вересня. За таких умов, бджоли, які будуть народжені у другій декаді вересня фізіологічно вважатимуться повноцінними. Вони зможуть перезимувати і вирощувати розплід весною.

---

<sup>18</sup> Hopkins B., Chakrabarti P., Lucas H., Sagili R. Impacts of Different Winter Storage Conditions on the Physiology of Diutinus Honey Bees (Hymenoptera: Apidae). J Econ Entomol. 2021. Vol. 9, P. 409-414. DOI: 10.1093/jee/toaa302.

<sup>19</sup> Dequenne I., Philippart F. Developing Strategies to Help Bee Colony Resilience in Changing Environments. Animals (Basel). 2022. Vol. 2, P. 3396. DOI: 10.3390/ani12233396.

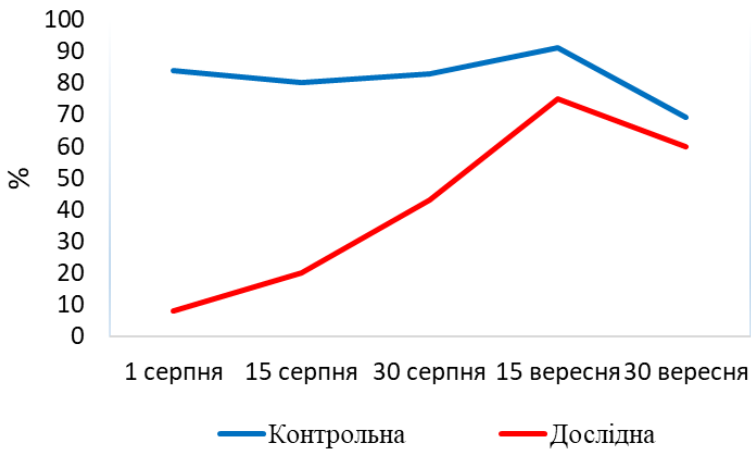


**Рис. 1 Коефіцієнт збереження робочих бджіл у сильних сім'ях залежно від часу виходу з комірок, %**

У ході еволюції медоносні бджоли адаптувались до стресових факторів протягом зимівлі. Їхнє життєве пристосування полягає в тому, що усі комахи гнізда підтримують необхідні параметри мікроклімату збираючись у щільну масу яку прийнято називати клуб. Таке ущільнення здійснюється за температури  $+11...+12^{\circ}\text{C}$ . Він є згуртованою кількістю комах, які обігрівають гніздо за рахунок теплової енергії власного тіла. Структура клубу має своєрідну будову зовнішню оболонку та внутрішнє ядро. Тому вивільнення енергії зменшується. Підготовка організму бджіл до зими супроводжується впливом сукупності факторів. Зокрема, у тканинах збільшується кількість сухої речовини.

При цьому зменшуються показники вмісту води. Ці показники визначають стійкість комах до низьких температур і забезпечують рівень та інтенсивність метаболізму. У більшості видів комах підготовка до зими пов'язана з частковою дегідратацією організму, що спричиняє різке зниження показників життєдіяльності, внаслідок чого підвищується стійкість організму до впливу несприятливих факторів. Такі процеси притаманні і медоносним бджолам. Маса бджіл, які відібрані із слабких сімей у першій декаді листопада коливається у діапазоні від 103,5 до 108,0 мг. Після висушування їхня постійна маса знижується втричі. Бджоли із сильних сімей були легші на 8,0-12,0 %. При дослідженні сухої маси бджіл відібраних із сильних сімей показник знизився лише в 2,6 раза. Таким чином у тканинах бджіл відібраних із сильних сімей спостерігається динаміка накопичення сухих речовин.

Вочевидь, це пов'язано з депонуванням пластичних речовин необхідних для зимівлі.



**Рис. 2 Коефіцієнт збереження робочих бджіл у слабких сім'ях залежно від часу виходу з комірків, %**

Отже, зниження вмісту води в тілі бджіл у період підготовки до зимівлі слід розглядати як пристосування, що забезпечує підвищення їх стійкості.

З біохімічної точки зору, описані процеси можуть відбуватися за рахунок змін вмісту деяких речовин. Причому можуть бути як органічного і неорганічного походження. Зокрема відомо, що катіони кальцію належать до основних катіонів організму медоносних бджіл. У результаті проведених досліджень встановлено, що кількість кальцію в літні місяці розподілялася таким чином – голова 0,30 г, груди 1,17 г, черевце 0,83 г/100 г сухої речовини. Більше кальцію згідно з нашими дослідженнями містять груди, основну масу яких складають м'язи. У зимовий період спостерігається значне депонування кальцію у всіх відділах бджоли. Зокрема, в голові накопичується найбільше кальцію. Його кількість збільшується у 2,5 рази. У порівнянні з головою або черевцем динаміка накопичення кальцію в грудному відділі дещо нижча. Проте, кількість кальцію тут у 1,6 разів вища порівняно з показниками літнього періоду. Підготовка до зими супроводжується збільшенням вмісту цього макроелемента в черевці. Порівняно з показниками, отриманими в літній період, його кількість збільшується в 2,1 рази. Депонування значної кількості кальцію в черевці може відбуватися за рахунок епітеліальних клітин середньої кишки багатих на вапняк. Іони натрію викликають затримку води в тканинах, а кальцій і



калій, навпаки, сприяють виділенню її з організму. Тому незалежно від фізіологічного стану організму в тканинах відбувається часткове зневоднення. Таким чином, можна пояснити підвищення вмісту кальцію в тілі бджіл узимку. Існує негативний кореляційний зв'язок між показниками вмісту кальцію та води в організмі бджіл, які готуються до зимівлі. Отже, вміст кальцію може бути одним із способів прогнозування майбутньої зимівлі цих комах.

У період зимівлі сильні сім'ї значно раціональніше використовують енергію організму на одиницю живої маси бджіл.<sup>20</sup> При цьому вони краще зимують та інтенсивніше розвиваються навесні. Внаслідок окислення ліпідів звільняється значна кількість енергії. Тому, метою наступного етапу досліджень було вивчення якісних показників та прогнозування майбутньої зимівлі в залежності від вмісту загальних ліпідів та співвідношення їх класів.

У результаті проведених досліджень встановлено, що у непрямих м'язах грудного відділу сильних та слабких сімей на початку зимівлі виявлена різна кількість загальних ліпідів. Такі результати можна пояснити інтенсивною підготовкою бджіл до зміни умов зовнішнього середовища. У грудні місяці зафіксовано збільшення кількості загальних ліпідів на 20-22%.

Депонування резервних ліпідів виявлено у всіх відділах медоносної бджоли. Особливо яскраво воно проявляється у черевці. Важливою умовою для успішної зимівлі є той факт, що у сильних сім'ях під час зимівлі у зоні розплоду температурні показники стабільніші. Відомо, що коливання температурного режиму негативно впливає на якість першого весняного покоління. Тепловіддача на одиницю маси у сильних сімей нижча порівняно зі слабкими, тобто вони менше витрачають корми за період зимівлі.

З усіх тканин тіла медоносних бджіл велику масу займає м'язова. Тому вивчення її хімічного складу є досить актуальним щодо процесів гіпобіозу. Ліпідний склад прямих і непрямих м'язів грудного відділу робочих бджіл представлений 6 класами, з яких основну частину складають фосфоліпіди. Відомо, що фосфоліпіди належать до структурної групи ліпідів. Їхня роль зумовлена гідрофобними властивостями. Про вміст води у тканинах у зимовий період вже зазначалося. Тому рівень фосфоліпідів у м'язовій тканині є одним із показників процесу дегідратації організму. Кількість фосфоліпідів у м'язах сильних сімей на 32-35% вищий порівняно з показниками слабких сімей ( $p < 0,01$ ).

---

<sup>20</sup> Wang H., Liu C., Liu Z., Wang Y. The different dietary sugars modulate the composition of the gut microbiota in honeybee during overwintering. BMC Microbiol. 2020. Vol. 17, 61 p. DOI: 10.1186/s12866-020-01726-6.

Нами виявлено зміни щодо вмісту у тканинах триацилгліцеролів. Їхній запас може бути пов'язаний з життєвою необхідністю пристосування до зниженої температури зовнішнього середовища. У сильних сімей за рахунок збільшення кількості особин такого суттєвого депонування не спостерігається. Поряд з цим, під час зимівлі відбувається збільшення кількості триацилгліцеролів у м'язах робочих бджіл, що зумовлено посиленням процесів проліферації адипоцитів у міжм'язових волокнах у комах із слабших сімей.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином, слід зауважити, що якість зимівлі медоносних бджіл залежить від кількості заготовлених вуглеводних кормів, та кількості вирощеного розплоду у вересні. Особливо інтенсивному фізіологічному зношуванню та зменшенню тривалості життя спричиняє годівля личинок. Бджоли, які відповідно свого віку та функціональної діяльності пройшли весь цикл робіт з вирощування розплоду, майже повністю гинуть у час осінньо-зимового періоду. Також погано переносять період зимівлі робочі особини, які приймали участь в льотній діяльності на інтенсивних пізньолітніх продуктивних медозборах або переробці цукрового сиропу при загодівлі сім'ї до зимівлі. Водночас незадовільні результати зимівлі демонструють і бджоли наймолодшого віку, які не приймали жодної активної участі у життєдіяльності сім'ї, однак до початку входження в період гіпобіозу не встигли депонувати в жировому тілі резерву необхідних поживних речовин у вигляді азотистих речовин, ліпідів, та глікогену, що надалі використовуються протягом усього зимового періоду та весняного розвитку. У віковому аспекті найкращі показники щодо тривалості життя, якості зимівлі та динаміки розвитку сімей показують бджоли, які вийшли з розплоду в серпні та першій декаді вересня. За умови відповідного фізіологічного стану тривалість їх життя може досягати 250–300 діб зі збереженням функціональної спроможності по закінченні зимівлі до годівлі личинок та вирощування розплоду. Водночас тривалість життя літньої генерації бджіл не перевищує 40–45 днів, що обумовлено їхнім фізіологічним зношенням внаслідок інтенсивної функціональної активності.

## **АНОТАЦІЯ**

У сучасній спеціалізованій літературі недостатньо даних, що стосуються питання впливу на організм бджіл різної кількості використаного цукрового сиропу у якості зимових кормових запасів та періоду його поповнення. При цьому, актуальним залишається питання термінів народження особин, які повинні формувати основу зимового клубу. У даному розділі подано дані про те, що для оптимальної зимівлі бджіл ефективним є поповнення у серпні великих порцій цукрового сиропу. Досліджено, що інтенсивне згодовування цукрового сиропу не

впливає негативно на показники гіпобіозу. Максимальний ступінь інверсії цукрози виявлений при споживанні цукрового сиропу у дозі 3 л і становив 80,7%. При цьому незалежно від експериментальної дози, усі зразки мали кислу реакцію (рН у межах 4,18–4,53) та вміст сухого залишку (80,22–81,29%). Тривалість життя бджіл у період гіпобіозу в основному залежить від віку і сили сім'ї. Особини, які вийшли з комірок у липні та на початку серпня не мають впливу на якість зимівлі. Більшість з них до 1 грудня відмирає. Особливо багато їх гине в слабких сім'ях. Бджоли, що виходять з комірок у третій декаді серпня та у першій декаді вересня формують основу зимового клубу. Відновлення мікробіоти кишечника, зниження рівня інвазії та інші фактори лежать в основі сприятливої зимівлі. Вирішення цих питань дасть змогу оптимізувати галузь бджільництва.

### Література

1. Akyol E., Yeninar H., Sahinler N., Guler A. The Effects of Additive Feeding and Feed Additives Before Wintering on Honey Bee Colony Performances, Wintering Abilities and Survival Rates at the East Mediterranean Region. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2006. Vol. 9, P. 589-592. DOI: 10.3923/pjbs.2006.589.592.
2. Amdam G., Omholt S. The regulatory anatomy of honeybee lifespan. *J. Theor. Biol.* 2002. Vol. 216, P. 209–228. DOI: 10.1006/jtbi.2002.2545.
3. Bahreini R., Currie R. The Potential of Bee-Generated Carbon Dioxide for Control of Varroa Mite (Mesostigmata: Varroidae) in Indoor Overwintering Honey bee (Hymenoptera: Apidae) Colonies. *J Econ Entomol.* 2015. Vol. 108, P. 2153-67. DOI: 10.1093/jee/tov202.
4. Beyer M. Winter honey bee colony losses, Varroa destructor control strategies, and the role of weather conditions: Results from a survey among beekeepers. *Res. Vet. Sci.* 2018. Vol. 118, P. 52–60. DOI: org/10.1016/j.rvsc.2018.01.012.
5. Brodschneider R. Multi-country loss rates of honey bee colonies during winter 2016/2017 from the COLOSS survey. *J. Apic. Res.* 2018. Vol. 57, P. 452–457. DOI: org/10.1080/00218839.2018.1460911.
6. Calovi M., Grozinger C., Miller D. Summer weather conditions influence winter survival of honey bees (*Apis mellifera*) in the northeastern United States. *Sci Rep.* 2021. Vol. 11, P. 1553. DOI: org/10.1038/s41598-021-81051-8.
7. Dequenne I., Philippart F. Developing Strategies to Help Bee Colony Resilience in Changing Environments. *Animals (Basel)*. 2022. Vol. 2, P. 3396. DOI: 10.3390/ani12233396.
8. Döke, M., Frazier M., Grozinger C. Overwintering honey bees: Biology and management. *Curr. Opin. Insect Sci.* 2015. Vol. 10, P. 185–193. DOI: org/10.1016/j.cois.2015.05.014.

9. Guler A., Ekinci D. Effects of Feeding Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) With Industrial Sugars Produced by Plants Using Different Photosynthetic Cycles (Carbon C3 and C4) on the Colony Wintering Ability, Lifespan, and Forage Behavior. *J Econ Entomol.* 2018. Vol. 26, P. 2003-2010. DOI: 10.1093/jee/toy189.

10. Hopkins B., Chakrabarti P., Lucas H., Sagili R. Impacts of Different Winter Storage Conditions on the Physiology of Diutinus Honey Bees (Hymenoptera: Apidae). *J Econ Entomol.* 2021. Vol. 9, P. 409-414. DOI: 10.1093/jee/toaa302.

11. Knoll S., Pinna W., Varcasia A., Scala A. The honey bee (*Apis mellifera* L., 1758) and the seasonal adaptation of productions. Highlights on summer to winter transition and back to summer metabolic activity. A review. *Livest. Sci.* 2020. Vol. 235, 104011 p. DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104011.

12. Kojić D., Purać J., Nikolić T., Orčić S. Oxidative stress and the activity of antioxidative defense enzymes in overwintering honey bees. *Entomol. Gen.* 2019. Vol. 39, P. 33–44. DOI: 10.1127/entomologia/2019/0743.

13. Li C, Tang M, Li X, Zhou X. Community Dynamics in Structure and Function of Honey Bee Gut Bacteria in Response to Winter Dietary Shift. *mBio.* 2022. Vol. 26, P. 456-465. DOI: 10.1128/mbio.01131-22.

14. Maes Patrick W. et al. Overwintering Honey Bee Colonies: Effect of Worker Age and Climate on the Hindgut Microbiota Insects. 2021. Vol. 12, 224 p. DOI: 10.3390/insects12030224.

15. Sammataro D., Weiss M. Comparison of productivity of colonies of honey bees, *Apis mellifera*, supplemented with sucrose or high fructose corn syrup. *J Insect Sci.* 2013. Vol. 13, 19 p. DOI: 10.1673/031.013.1901.

16. Stalidzans E., Zacepins A., Kvišis A., Brusbardis V. Dynamics of Weight Change and Temperature of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) Colonies in a Wintering Building With Controlled Temperature. *J Econ Entomol.* 2017. Vol. 110, P. 13-23. DOI: 10.1093/jee/tow282.

17. Steinmann N., Corona M., Neumann P., Dainat B. Overwintering is associated with reduced expression of immune genes and higher susceptibility to virus infection in honey bees. *PLoS ONE.* 2015. Vol. 10, 0129956 p. DOI: 10.1371/journal.pone.0129956.

18. Switanek M., Crailsheim K., Truhetz H. Brodschneider, R. Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. *Sci. Total Environ.* 2017. Vol. 579, P. 1581–1587. DOI: org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.178.

19. Wang H., Liu C., Liu Z., Wang Y. The different dietary sugars modulate the composition of the gut microbiota in honeybee during overwintering. *BMC Microbiol.* 2020. Vol. 17, 61 p. DOI: 10.1186/s12866-020-01726-6.

20. Wang Q., Xu X., Zhu X., Chen L. Low-temperature stress during capped brood stage increases pupal mortality, misorientation and adult

mortality in honey bees. PLoS ONE. 2016. Vol. 11, 0154547 p. DOI: 10.1371/journal.pone.0154547.

**Information about the authors:**

**Kovalskiy Iurii Volodymyrovych,**

Doctor of Agricultural Sciences,  
Professor at the Department of Production and Processing Technologies  
of Small Animal  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and  
Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Druzhbyak Andriy Yosifovych,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Associate Professor at the Department of Production and Processing  
Technologies of Small Animal  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and  
Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Kovalska Lidiya Mykolaivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Associate Professor at the Department of Ecology  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

## ПРОДУКТИВНЕ ДОВГОЛІТТЯ МОЛОЧНОЇ ХУДОБИ

Мазур Н. П., Федорович Є. І.

### ВСТУП

У сучасних умовах інтенсивного ведення тваринництва та впровадження прогресивних технологій вимоги до продуктивних якостей тварин значно підвищились. При веденні молочного скотарства визначальними критеріями є високий рівень продуктивності корів, добра відтворювальна здатність, тривале господарське використання, стресостійкість, резистентність тощо. Вирішення цих завдань пов'язано з поліпшенням генетичного потенціалу порід худоби<sup>1, 2</sup>.

Докорінне генетичне поліпшення популяцій вітчизняних молочних порід здійснюється за використання генофонду кращих зарубіжних порід, зокрема голштинської. Такий підхід дав змогу значно покращити молочну продуктивність корів, однак призвів до суттєвого погіршення рівня відтворення, якості продукції, загального здоров'я тварин, продуктивного довголіття тощо<sup>3, 4, 5, 6</sup>.

Довголіття – це складна інтегрована ознака, під якою розуміють адаптаційну здатність тварин до умов навколишнього середовища. Велика рогата худоба відзначається досить довгим біологічно зумовленим періодом продуктивного використання (8-10 лактацій). Однак, на даний час в умовах запровадження інтенсивних технологій вирощування великої рогатої худоби, корів молочних порід

---

<sup>1</sup> Гиль М. І. Аналіз молочної продуктивності та ефекту відбору корів різних порід в умовах ТОВ «Колос-2011» Миколаївської області. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. Вип. 3. С. 159–170.

<sup>2</sup> Черненко О. М. Ефективність довічного використання корів різних типів стресостійкості. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2010. Вип. 1. Т. 2. С. 107-112.

<sup>3</sup> Даниленко В. П. До питання ефективності використання молочних порід у господарстві. Розведення і генетика тварин. 2012. Вип. 46. С. 63–66.

<sup>4</sup> Новак І. В. Вплив генотипу на тривалість продуктивного використання корів та причини їх вибуття. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. 2016. Т. 18. №2 (67). С. 292-295. doi:10.15421/nvlvet6763

<sup>5</sup> Полупан Ю. П. Ефективність довічного використання корів: до методики групування і впливу умовної кровності. Розведення і генетика тварин. 2014. Вип. 48. С. 98-113.

<sup>6</sup> Хмельничий Л. М. Особливості спадкового впливу умовної кровності голштинської породи на показники довголіття корів української червоно-рябої молочної породи. Розведення і генетика тварин. 2016. №51. С. 170-177.

використовують лише 3-4 лактації, що негативно впливає на економічну ефективність галузі молочного скотарства<sup>7,8,9</sup>.

Згідно даних досліджень багатьох учених<sup>10,11</sup>, основною причиною зниження продуктивного довголіття корів є, насамперед, невідповідність високого генетичного потенціалу продуктивності тварин умовам їх годівлі та утримання, адже висока продуктивність, хороша відтворювальна здатність та тривале господарське використання корів можуть бути поєднані лише за умов високого рівня їх годівлі із добре збалансованими раціонами. Умови середовища можуть впливати на зміну продуктивних ознак у тварин на рівні з генотипом. Тому для спеціалістів важливим є оцінити вплив тих чи інших факторів на продуктивні ознаки тварин і розробити низку заходів для їх усунення.

Безумовно, що висока продуктивність, хороша відтворювальна здатність і тривале продуктивне використання корів можуть бути досягнуті тільки за умов належного рівня їх годівлі та утримання<sup>12</sup>. Однак, на ці господарськи корисні ознаки тварин впливають ще ряд інших, не менш важливих, генетичних і паратипових факторів, урахування яких у веденні селекційної роботи зі стадом може сприяти підвищенню як продуктивних якостей тварин, так і тривалості їх господарського використання. Тому, вивчення впливу генетичних і паратипових чинників на тривалість та ефективність довічного використання молочної худоби, зокрема і корів голштинської, українських чорно– та червоно-рябої молочних порід має неабияку наукову й практичну цінність.

### **1. Вплив різних паратипових чинників на продуктивне довголіття молочної худоби**

Відомо, що процес формування високопродуктивних стад молочної худоби починається чи не з першого дня життя тварини. Складовою цього процесу є оцінка тварин у ранньому віці та на різних етапах

---

<sup>7</sup> Langford F. M. Culled early or culled late: economic decisions and risks to welfare in dairy cows. *Animal Welfare*. 2012. Vol. 21. P. 41–55. doi: <https://doi.org/10.7120/096272812X13345905673647>

<sup>8</sup> Pritchard T., Coffey M., Mrode R., Wall E. Genetic parameters for production, health, fertility and longevity traits in dairy cows. *Animal*. 2013. Vol. 7. P. 34–46. doi: [10.1017/S1751731112001401](https://doi.org/10.1017/S1751731112001401)

<sup>9</sup> Strapakova E., Candrak J., Strapak P., Trakovicka A. Genetic evaluation of the functional productive life in Slovak Simmental cattle. *Arch. Tierzucht*. 2013. Vol. 56. P. 797–807. doi: <https://doi.org/10.7482/0003-9438-56-079>

<sup>10</sup> Mészáros G., Fuerst C., Furest-Waltl B., Kadlečik O., Kasarda R., Sölkner J. Genetic evaluation for length of productive life in Slovak Pinzgau cattle. *Arch. Tierzucht*. 2008. Vol. 51. P. 438–448. doi: <https://doi.org/10.5194/aab-51-438-2008>

<sup>11</sup> Olechnowicz J., Kneblewski P., Jaśkowski J. M., Włodarek J. Effect of selected factors on longevity in cattle: a review. *The J. Anim. Plant Sci*. 2016. Vol. 26(6). P. 1533–1541.

<sup>12</sup> Jankowska M., Sawa A., Kujawska Y. Effect of certain factors on the longevity and culling of cows. *Acta Scientiarum Polonorum, Zootechnica*. 2014. Vol. 13 (2). P. 19–30.

індивідуального розвитку за характером їх росту. Така оцінка дає можливість завчасно виявити особин з вадами і своєчасно вилучити їх з селекційного процесу. Проведений нами аналіз показників живої маси корів у період вирощування засвідчив, що тварини досліджуваних молочних порід характеризувалися добрим ростом й розвитком, оскільки у всі досліджувані вікові періоди (6, 12 та 18 місяців) за живою масою переважали стандарт відповідної породи: телиці голштинської породи, залежно від віку, – на 0,8-4,5 %, української чорно-рябої молочної породи – на 1,2-5,2 % та української червоно-рябої молочної породи – на 4,5-7,5 %. Ці дані є свідченням хороших умов годівлі й утримання у господарствах, де проводилися дослідження. Середньодобові прирости у період від народження до 18-місячного віку тварин голштинської породи становили в середньому 644, української чорно-рябої молочної породи – 641 та української червоно-рябої молочної породи – 692 г, що забезпечило добрий розвиток організму та високу майбутню молочну продуктивність корів (надій первісток, залежно від породи, коливався від 6317 до 7324 кг, вміст жиру в молоці – 3,63-3,74 %). За такого рівня вирощування первістки голштинської породи переважали стандарт за надоем на 74,4 %, української чорно-рябої молочної породи – на 85,8 % та української червоно-рябої молочної породи – на 102,8 %.

Запорукою успішного ведення галузі молочного скотарства є висока молочна продуктивність корів у поєднанні з хорошою їх відтворювальною здатністю. Проведений аналіз показників відтворювальної здатності тварин показав, що перше плідне осіменіння піддослідних телиць голштинської породи відбулося в середньому у віці 19,1 місяця, українських чорно- та червоно-рябої молочних порід – у віці 20,4 та 20,8 місяця. Їх жива маса у цей період становила 405,3; 414,3 та 438,5 кг відповідно. Найкоротшою тривалістю тільності відзначалися корови української чорно-рябої молочної породи (272,5-279,9 дня), проміжне місце за цим показником займали голштинки (273,2-280,3 дня) і найдовшою тривалістю тільності характеризувалися корови української червоно-рябої молочної породи (277,2-281,8 дня). Тривалість сухостійного періоду у корів голштинської породи, залежно від лактації, коливалася від 57,5 до 112,1 дня, у тварин української чорно-рябої молочної – від 62,5 до 100,2 дня та у корів української червоно-рябої молочної породи – від 65,9 до 98,2 дня.

Найкоротшою тривалістю сервіс- та міжотельного періодів відзначалися корови української червоно-рябої молочної породи (98,2-154,1 та 377,4-434,6 дня відповідно). У корів української чорно-рябої молочної породи тривалість сервіс-періоду коливалася від 94,7 до 180,3, тривалість міжотельного періоду – від 370,4 до 456,9 дня, а у тварин



голштинської породи – від 139,4 до 173,4 та від 416,3 до 451,3 дня відповідно. Коефіцієнти відтворної здатності у корів вищенаведених порід становили 0,88-0,97; 0,85-0,99 та 0,86-0,93 відповідно.

Отже, підвищення надою корів молочних порід супроводжується зниженням тривалості господарського використання. Про таку ж тенденцію повідомляють ряд вітчизняних вчених<sup>13</sup>. За їх даними, надій корів голштинської породи з 2011 по 2016 роки підвищився на 950 кг, українських чорно– та червоно-рябої молочних порід – на 1354 та 927 кг відповідно. У той же час, станом на 2016 рік тривалість лактування тварин зазначених порід становила в середньому лише 2,25; 2,82 та 2,88 лактації відповідно.

Велике теоретичне і практичне значення у племінному тваринництві має вивчення взаємодії генотипу і середовища. Загальна фенотипова мінливість господарськи корисних ознак корів знаходиться під впливом генетичних і паратипових чинників. Генетична мінливість залежить від різноманітності генотипів, а паратипова – від реакції організму на різні умови середовища, зокрема умов годівлі й утримання, технологічних процесів тощо. Безумовно, рівень годівлі тварин є визначальним чинником прояву генотипу тварин, однак,

часто поняття середовище звужують лише до поняття про рівень годівлі, що нерідко призводить до помилок у селекційній практиці. Тому дотримання одного із найважливіших положень теоретичних основ селекції, яке ґрунтується на тому, що господарськи корисні ознаки тварин покращуватимуться у результаті цілеспрямованого добору за умов адекватного поліпшення не лише рівня годівлі, але й умов утримання тварин, може сприяти успішному веденню галузі.

Одним із основних показників норми реакції організму на взаємодію генотипу і середовища у конкретному господарстві є надій корів. Нами встановлено, що найвищими надоями за 305 днів першої лактації відзначалися корови, які належали ПрАТ ПК «Поділля» (корови голштинської породи – 7515, української чорно-рябої молочної – 6904 та української червоно-рябої молочної – 5913 кг) та ДП ДГ «Чайка» (корови голштинської породи – 7003, української чорно-рябої молочної – 7189 кг) та ДП ДГ «Олександрівське» (української червоно-рябої молочної – 5254 кг). У решту господарств надій корів за 305 днів першої лактації досліджуваних порід коливався від 4174 до 5912 кг.

Продуктивне довголіття тварин також залежить від умов утримання у конкретному господарстві. Корови досліджуваних порід, які належали ДП ДГ «Чайка», ДП ДГ «Олександрівське, СТОВ «Богодухівське» та ДП

---

<sup>13</sup> Башенко М. І., Гладій М. В., Мельник Ю. Ф., Єфіменко М. Я., Кругляк А. П., Полупан Ю. П., Вишневецький Л. В., Бірюкова О. Д., Кругляк О. В., Прийма С. В., Кузєбний С. В. Стан і перспективи розвитку молочного скотарства України. Розведення і генетика тварин. 2017. Вип. 54. С. 6–14.

ДГ «Ямниця», відзначалися оптимальним поєднанням тривалого господарського використання та довічної продуктивності. У тварин ПрАТ ПК «Поділля» хоч і виявлено високі надої за 305 днів першої лактації, а відтак порівняно високі довічні надої (окрім тварин української червоно-рябої молочної породи), однак вони скоріше вибували зі стад. У решті піддослідних господарств корови лактували менше 3 лактацій, а їх довічний надій коливався від 4783 до 15502 кг.

Таким чином, очевидним є те, що генетичний потенціал тварин у зазначених господарствах реалізовується більш повно, ніж у решті піддослідних господарств. Причинами такої ситуації є ведення на високому рівні селекційно-племінної роботи з породами і, звичайно, належні умови годівлі та утримання тварин. Крім того, спеціалісти цих господарств акцентують увагу на профілактиці причин вибуття корів, що дозволяє суттєво підвищити їх продуктивне довголіття.

Наступними систематичними середовищними чинниками, які мають певний вплив на показники продуктивного довголіття корів, є рік і сезон народження та першого отелення. Показники продуктивного довголіття корів досліджуваних порід залежали від року їх народження та першого отелення, що, мабуть, обумовлено неоднорідністю умов вирощування і годівлі тварин у різні роки. Порівняння групових середніх корів різних років народження свідчить про значний рівень міжгрупової диференціації за тривалістю життя, продуктивного використання і лактування, кількістю лактацій за життя та показниками довічної продуктивності. З поміж корів голштинської породи зазначені показники найвищими були у тварин, які народилися у період з 1994 по 1996 рік та вперше отелилися у 1996-1999 роках, серед тварин української чорно-рябої молочної породи – у особин, народження яких припадало на 1992-1994 роки, а рік першого отелення – з 1994 по 1998 роки та з поміж корів української червоно-рябої молочної породи – у тварин, які народилися у період з 1992 по 1995 роки, а перше отелення припадало на 1994-2000 роки. Найменшою кількістю лактацій за життя та найнижчими довічними надоями з поміж корів досліджуваних порід відзначалися тварини, що народилися у 2005-2006 роках та вперше отелилися у 2007-2008 роках.

Однією з найважливіших ознак загальної ефективності продуктивного довголіття корів є надій на один день продуктивного використання. Цей показник у тварин вищенаведених порід з різними роками народження та першого отелення змінювався хвилеподібно, причому у корів українських чорно- та червоно-рябої молочних порід спостерігалось його криволінійне зростання до максимального значення у групі особин 2006 року народження (20,4 та 19,1 кг відповідно) та з першим отеленням у 2008 році (20,0 та 19,0 кг). Водночас, у тварин

голштинської породи надій на один день продуктивного використання знизився з 20,0 кг у корів 1994 року народження до 16,7 кг у корів, які народилися у 2006 році. Варто відмітити, що за хвилеподібних змін цього показника у голштинів з різним роком першого отелення найвищих значень він досягав у особин, перше отелення яких відбулося у 1997 році (20,3 кг).

Щодо впливу на продуктивне довголіття корів сезону їх народження та першого отелення, то нами встановлено, що найвищими показниками тривалості життя, господарського використання, лактування, кількості лактацій за життя та довічної продуктивності відзначалися корови досліджуваних порід, які народилися в осінньо-зимовий період.

У корів голштинської породи найдовшу тривалість життя, господарського використання і лактування відмічено за першого отелення взимку, українських чорно- та червоно-рябої молочних порід – влітку, а найвищу довічну продуктивність – у голштинів з першим отеленням навесні, а у чорно- та червоно-рябих тварин – восени.

Важливим фактором, від якого залежать господарськи корисні ознаки у молочній худобі, є інтенсивність вирощування тварин у різні вікові періоди. Нами встановлено, що тварини, які не досягнули стандарту породи за живою масою у певний віковий період у подальшому мали нижчі показники тривалості використання та довічної продуктивності. Найдовшою тривалістю життя, продуктивного використання, кількістю лактацій за життя та найвищою довічною продуктивністю характеризувалися тварини голштинської породи, жива маса яких у 6-місячному віці становила 181-220, у 12-місячному – 311-340 та у 18-місячному – 411-440 кг, української чорно-рябої молочної породи – 151-180; 251-310 та 351-410 кг відповідно, української червоно-рябої молочної породи – 151-180; 251-340 та 381-410 кг. Тварини голштинської та української чорно-рябої молочної порід, яких вперше осіменяли за живої маси 411-440 кг, і тварини української червоно-рябої молочної породи – за живої маси у цей період понад 440 кг, мали дещо довшу тривалість господарського використання та вищі довічні надої. Корови голштинської та української червоно-рябої молочної порід, перше отелення яких відбулося за живої маси 511-540 кг, а тварини української чорно-рябої молочної породи – за живої маси 481-540 кг, відзначалися довшою тривалістю їх продуктивного використання на 4,6-37,7 % та підвищенням їх довічних надоїв – на 6,1-29,8 %.

Про вплив рівня вирощування ремонтного молодняку та живої маси при першому осіменінні й першому отеленні тварин на їх подальшу молочну продуктивність і показники продуктивного довголіття

повідомляють інші дослідники<sup>14</sup>, які у своїх дослідженнях приходять до висновку, що оптимальне вирощування молодняка сприяє у подальшому зниженню вибракування тварин через низьку продуктивність, особливо первісток.

На сьогоднішній день питання оптимального віку першого отелення є досить дискусійним. Одні дослідники вважають, що за умов раннього отелення корів підвищується економічна ефективність виробництва молока, посилюється швидкість відтворення стада, прискорюється оцінка плідників за якістю нащадків, інші відмічають, що із прискоренням відтворення зменшується запліднюваність тварин, посилюється фізіологічне навантаження на організм тварин, яке гальмує їхній ріст і нормальний розвиток плоду, збільшується частка важких отелень і мертвороджених телят<sup>15</sup>.

Нами встановлено, що для подовження тривалості продуктивного використання корів голштинської, українських чорно– та червоно-рябої молочних порід їх перше отелення потрібно планувати у віці 27,1-29,0 місяців, а для підвищення довічної продуктивності – у віці 25,1-27,0 місяців. Ранні (до 25 місяців) та пізні (понад 33 місяці) отелення призводять до скорочення тривалості довічного використання та зниження довічної продуктивності тварин. Для корів голштинської та української чорно-рябої молочної порід негативний вплив ранніх отелень, порівняно з пізніми, на їх довічну продуктивність був менш помітним, тоді як для тварин української червоно-рябої він був суттєвим як на довічну продуктивність, так і на тривалість їх продуктивного використання.

Поряд з віком першого отелення тварин важливим показником відтворювальної здатності є тривалість сервіс-періоду у корів, від якої залежить ефективність ведення галузі молочного скотарства. В Україні за останні роки з нарощуванням умовної кровності голштинської породи у корів тривалість сервіс-періоду значно подовжилася. Так, за даними М. І. Башенка, М. В. Гладія,

Ю. Ф. Мельника та ін.<sup>16</sup>, тривалість сервіс-періоду у тварин української чорно-рябої молочної породи збільшилась зі 100 днів у 2011 році до 105 днів у 2016 році, української червоно-рябої молочної породи – відповідно з 90,5 до 114,5 днів та української червоної молочної – з

---

<sup>14</sup> Данець Л. М. Вплив живої маси телиць на тривалість їхнього життя. Вісник Сумського національного аграрного університету. 2015. Вип. 2 (27). С. 41-43.

<sup>15</sup> Гавриленко М. С. Довічна продуктивність корів української чорно-рябої породи залежно від віку їхнього першого отелення. Розведення і генетика тварин. 2003. Вип. 35. С. 19-26.

<sup>16</sup> Башенко М. І., Гладій М. В., Мельник Ю. Ф., Єфіменко М. Я., Кругляк А. П., Полупан Ю. П., Вишневецький Л. В., Бірюкова О. Д., Кругляк О. В., Прийма С. В., Кузєбний С. В. Стан і перспективи розвитку молочного скотарства України. Розведення і генетика тварин. 2017. Вип. 54. С. 6–14.

103,7 до 123,0 днів. В окремих стадах, залежно від спадковості голштинів, вона сягала до 200 днів, а у чистопородних стадах голштинської породи – до 134,7-142,0 днів. Натомість, тривалість продуктивного використання у корів вітчизняних порід знизилася до 2,49-2,82, у голштинів – до 2,25 лактації.

Нами встановлено, що з поміж тварин голштинської та української червоно-рябої молочної породи найдовше використовувалися у стадах та мали найвищі довічні надої корови з тривалістю першого сервіс-періоду 121-150 днів, а серед тварин української чорно-рябої молочної породи – особини з тривалістю зазначеного періоду 151-180 днів. Найгіршими за показниками продуктивного довголіття виявилися корови, у яких тривалість першого сервіс-періоду не перевищувала 60 днів.

Л. М. Хмельничий, В. П. Лобода<sup>17</sup> вважають, що для отримання найвищих довічних надоїв від корів української червоно-рябої молочної породи оптимальною тривалістю сервіс-періоду має бути 81-100 днів, а Р. В. Ставецька, О. В. Бойко<sup>18</sup> повідомляють, що кращою тривалістю господарського використання та вищими довічними надоями характеризувалися корови української чорно-рябої молочної породи, у яких тривалість сервіс-періоду коливалася від 91 до 180 днів.

Нами встановлено, що продуктивне довголіття корів залежить від тривалості їх першої лактації. Кращими показниками тривалості господарського використання та довічних надоїв серед тварин голштинської та української червоно-рябої молочної порід характеризувалися корови з тривалістю першої лактації 336-400, а української чорно-рябої молочної породи – з тривалістю цієї лактації 371-400 днів.

У процесі пошуку шляхів підвищення продуктивного довголіття корів певний інтерес представляє рівень продуктивності тварин за першу та кращу лактації. Зокрема, деякі вчені повідомляють, що показники продуктивного довголіття значною мірою залежать від рівня надою первісток, але не у всіх випадках високий надій за першу лактацію є критерієм добору тварин з високою довічною продуктивністю і тривалим терміном продуктивного використання. Нами виявлено, що надій корів голштинської, українських чорно– та червоно-рябої молочних порід за першу лактацію до 5500 кг сприяв подовженню тривалості їх життя, продуктивного використання та збільшенню кількості лактацій за життя, а надій понад 8500 кг – підвищенню

---

<sup>17</sup> Хмельничий Л. М., Лобода В. П. Продуктивність корів української червоно-рябої молочної породи залежно від показників відтворної здатності. Розведення і генетика тварин. 2014. №48. С. 143-150.

<sup>18</sup> Ставецька Р. В., Бойко О. В. Вплив тривалості сервіс-періоду на показники молочної продуктивності та господарського використання молочних корів. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2015. №2. С. 205-210.

довічних надоїв та довічної кількості молочного жиру. Кращими показниками продуктивного довголіття відзначалися тварини голштинської породи, рівень надою яких за кращу лактацію сягав понад 10500 кг, українських чорно– та червоно-рябої молочних порід – понад 9500 кг.

Серед науковців питання інтенсивності роздою корів-первісток є досить суперечливим, оскільки одні автори доводять, що для подовження тривалості продуктивного використання та підвищення довічної продуктивності первісток потрібно роздоювати до рівня 4000-4500 кг<sup>19</sup>, інші ж вказують на те, що роздій первісток до 6000 кг молока дозволяє найповніше реалізувати генетичний потенціал тварин щодо продуктивного довголіття. Така розбіжність тверджень, на нашу думку, виникає на фоні різного рівня генетичного потенціалу тварин, який реалізовується у доволі різних умовах годівлі й утримання.

При веденні селекційно-племінної роботи з молочною худобою значна увага приділяється комплексному поліпшенню ознак екстер'єру, тому що тварини з міцною конституцією та добрими показниками екстер'єру в умовах запровадження інтенсивних технологій можуть характеризуватися високою продуктивністю та довголіттям і стійко передавати свої племінні якості потомству<sup>20</sup>. Однак, відомо, що довготривала селекція виключно за молочною продуктивністю, без урахування екстер'єру, призводить до погіршення у корів ознак молочного типу і, як наслідок, скорочення термінів продуктивного використання. Тому систематичний добір тварин за екстер'єрним типом має важливе значення.

Встановлено, що продуктивне довголіття корів залежить від їх екстер'єрного та виробничого типів. Для формування високопродуктивних стад з тривалим господарським використанням слід відбирати корів лептосомного і проміжного екстер'єрних типів та молочного і наближеного до молочного виробничих типів. У тварин наведених типів відмічено оптимальне поєднання тривалості господарського використання з довічною продуктивністю.

---

<sup>19</sup> Пославська Ю. В., Федорович С. І., Боднар П. В. Тривалість та ефективність довічного використання корів залежно від їх надою за першу та кращу лактації. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького. 2017. Т. 19, №74. С. 175–181. doi:10.15421/nvlvet7439

<sup>20</sup> Хмельничий С. Л. Тривалість життя корів української чорно-рябої молочної породи в залежності від рівня оцінки лінійних ознак будови тіла. Вісник Сумського національного аграрного університету. 2016. Вип. 5(29). С. 98–105.

## 2. Вплив генетичних чинників на продуктивне довголіття молочної худоби

Необхідність селекції молочної худоби на довголіття зумовлюється спадковою залежністю показників тривалості господарського використання і довічної продуктивності тварин. У літературних джерелах є чимало повідомлень про те, що на показники довічної продуктивності корів впливають найперше генетичні чинники<sup>21,22,23</sup>. Довічна продуктивність корів є складною полігенною ознакою і характеризується невисокою успадкованістю, що обмежує можливості масової селекції, а тому на тривалість використання й довічну продуктивність тварин серед генетичних факторів найбільший вплив чинить індивідуальна спадковість бугаїв-плідників. Однак, на переконання Ю. П. Полупана<sup>24</sup>, добір слід проводити як серед батьків, так і серед кращих за показниками продуктивного довголіття матерів. Свідченням цього, на його думку, є наближені значення коефіцієнтів успадкованості, вираховані шляхом «мати-дочка» (7,6-48,9 %) зазначених показників та сили впливу на ці показники батька (6,4-34 %).

Нами проведено аналіз показників продуктивного довголіття корів, одержаних від матерів-довгожителюк та високопродуктивних матерів. Встановлено, що потомки корів-довгожителюк голштинської породи за більшістю ознак продуктивного довголіття поступалися не лише своїм матерям, але й середньому по стаду. Дочки довгожителюк українських чорно- та червоно-рябої молочних порід характеризувалися дещо вищими показниками продуктивного довголіття за середнє по стаду. Довічний надій у них був вищим на 10,4 та 28,9 % відповідно, а кількість лактацій за життя – на 6,4 та 22,7 %.

Потомки високопродуктивних корів усіх досліджуваних порід менше використовувалися у стаді на 25,0-54,9 та мали нижчу довічну продуктивність на 39,7-65,0 %, ніж їх матері. Серед тварин голштинської породи за тривалістю продуктивного використання і довічними надоями вони також поступалися середнім показникам по стаду на 17,7 та 7,4 % відповідно, а нащадки української червоно-рябої молочної породи,

---

<sup>21</sup> Полупан Ю. П. Генетична детермінація тривалості та ефективності довічного використання чорно-рябої молочної худоби. Розведення і генетика тварин. 2015. Вип. 49. С. 118–133.

<sup>22</sup> Хмельничий Л. М., Салогуб А. М., Бондарчук В. М., Шевченко А. П. Молочна продуктивність корів одержаних при внутрішньолінійному підборі та міжлінійних кроссах. Науково-теоретичний збірник Житомирського національного агроекологічного університету. 2015. Т.3, №2(52). С. 51–56.

<sup>23</sup> Effa K., Hunde D., Shumiye M., Silasie R. H. Analysis of longevity traits and lifetime productivity of crossbred in the Tropical Highlands of Ethiopia. Journal of Cell and Animal Biology. 2013. Vol. 7, No. 11. P. 138–143.

<sup>24</sup> Полупан Ю. П. Генетична детермінація тривалості та ефективності довічного використання чорно-рябої молочної худоби. Розведення і генетика тварин. 2015. Вип. 49. С. 118–133.

навпаки, переважали середні показники по стаду на 25,0 та 21,3 %. З поміж тварин української чорно-рябої молочної породи дочки високопродуктивних матерів характеризувалися нижчою тривалістю лактування порівняно з середнім по стаду на 12,9 % та вищими довічними надоями на 4,6 %.

Цікавим є той факт, що серед підконтрольного поголів'я корів-довгожительок українських чорно- та червоно-рябої молочних порід від бугаїв української селекції одержано відповідно 55,8 та 57,9 % тварин. Тому, на нашу думку, в подальшому з метою підвищення показників продуктивного довголіття корів молочних порід, краще використовувати вітчизняних плідників. Дослідженнями І. В. Гончаренка<sup>25</sup> встановлено, що дочки корів-довгожительок української чорно-рябої молочної породи відзначались порівняно коротким терміном господарського використання (3 лактації), мали довічний надій на рівні 11 тонн і поступалися за ознаками довічної молочної продуктивності не тільки своїм матерям, а й середньому по досліджуваному стаду.

Як уже зазначалося вище, на думку багатьох вчених, серед генетичних чинників помітний вплив на показники тривалості та ефективності продуктивного використання корів має спадковість за батьком. Відомо, що в останні десятиріччя для покращення продуктивних якостей вітчизняної молочної худоби використовують плідників голштинської породи різних країн селекції. Такі заходи, хоч і дали змогу значно підвищити молочну продуктивність корів, однак, призвели до суттєвого зниження тривалості їх продуктивного використання.

Проблема зниження продуктивного довголіття молочної худоби поширена й за кордоном. Так, середня тривалість продуктивного використання корів у Німеччині становить 2,5-3,0<sup>26</sup>, у західній Канаді – 1,6<sup>27</sup>, у США – 2,63 лактації<sup>28</sup>, у Нідерландах – 1108 днів, у Голландії –

---

<sup>25</sup> Гончаренко І. В. Тривалість господарського використання молочних корів як ознака селекції. Вісник аграрної науки. 2004. № 6. С. 37-39.

<sup>26</sup> Martens H., Bange Chr. Longevity of high producing dairy cows: a case study. Lohmann Information. 2013. Vol. 48 (1), P. 53–57.

<sup>27</sup> Murray B. Finding the fools to achieve longevity in Canadian dairy cows. WCDS Advances in Dairy Technology. 2013. Vol. 25. P. 15–28.

<sup>28</sup> Albert De Vries. Cow longevity economics: The cost benefit of keeping the cow in the herd. Cow Longevity Conference. 2013. P. 22–52.



1277 днів<sup>29</sup>. У цих країнах показники тривалості господарського використання включені в індекси племінної цінності бугаїв<sup>30</sup>.

Нами встановлено, що покращувачами за окремими ознаками продуктивного довголіття дочок виявилися бугаї голштинської породи Рок 373840409, В. М. Ден 5510544, В. Тексел Кін 393522 (канадська селекція) Е. Самб 3035115974 (угорська селекція), Лорд 661288 (німецька селекція), Валентин 373840175, Матадор 373840109 (російська селекція), а також плідники вітчизняної селекції Абрикос 5806 та Хлор 2052. Серед тварин голштинської породи кращими за тривалістю життя, продуктивного використання, лактування

виявилися корови, які походили від бугаїв угорської та американської селекції, а за кількістю лактацій за життя та довічною продуктивністю – дочки бугаїв угорської та канадської селекції. З поміж тварин української чорно-рябої молочної породи найвищою тривалістю життя, продуктивного використання і лактування та кількістю лактацій за життя характеризувалися корови, одержані від плідників російської й української селекції, а найвищою довічною продуктивністю – дочки бугаїв російської та канадської селекції. Серед тварин української червоно-рябої молочної породи кращі показники продуктивного довголіття відмічено у дочок канадських та вітчизняних бугаїв.

Отже, серед тварин досліджуваних порід тривалішим господарським використанням відзначалися корови, одержані здебільшого від бугаїв вітчизняної селекції, а вища довічна продуктивність спостерігалася у особин, які походили від бугаїв канадської селекції. Утім, необхідно зауважити, що при доборі корів за країною селекції їх батьків потрібно, насамперед, враховувати індивідуальні особливості кожного бугая, оскільки серед загальної чисельності плідників тієї чи іншої країни селекції є особини, які негативно впливають на показники продуктивного довголіття дочок. Зокрема, серед бугаїв голштинської породи канадської селекції, які використовувалися на маточному поголів'ї досліджуваних порід, дочки плідника М. Амадейоса 532518 (n=46) лактували у стаді лише 1,3 лактації, а середній довічний надій у них становив лише 8564 кг, у дочок бугая Р. Н. Кавалера 384138 (n=302) ці показники становили 1,9 лактації та 12854 кг відповідно.

Прискорити темпи поліпшення тварин за господарськи корисними ознаками можна за допомогою чистопородного розведення. Значна стійкість передачі спадкових ознак чистопородних тварин сприяє тому,

---

<sup>29</sup> Dutch herds increase lifetime production and longevity: URL: <http://www.crv4all.com/dutch-herds-increase-lifetime-production-and-longevity>

<sup>30</sup> Басовський Д. М. Методичні підходи щодо оцінки генетичної цінності бугаїв молочних порід за комплексом ознак у Північній Америці. Розведення і генетика тварин. 2014. Вип. 48. С. 18-23.

що можна передбачити з великою достовірністю результативність добору і одержувати приплід бажаної якості.

Згідно отриманих нами результатів досліджень, кращими показниками продуктивного довголіття відзначалися чистопородні тварини вітчизняних порід порівняно з помісями, одержаними за поглинального схрещування з бугаями голштинської породи. З поміж чистопородних тварин голштинської, чорно– та червоно-рябої порід найдовше використовувалися у стадах (3,78 лактації) та мали найвищі довічні надої (19894 кг) корови червоно-рябої породи.

Одним із ефективних шляхів докорінного поліпшення популяцій вітчизняних молочних порід, поряд з чистопородним розведенням, є використання генофонду кращих зарубіжних порід. Покращення продуктивних якостей тварин трьох українських молочних порід здійснюється за допомогою поглинального схрещування з плідниками голштинської породи різних країн світу. За повідомленнями багатьох дослідників<sup>31,32,33,34,35,36</sup>, така односпрямована селекція призвела до погіршення рівня відтворення, продуктивного довголіття, якості продукції, загального здоров'я тварин тощо.

Нами встановлено, що найдовшою тривалістю життя, продуктивного використання, лактування та найбільшою кількістю лактацій за життя характеризувалися корови вітчизняних порід, умовна частка спадковості голштинів у яких не перевищувала 50 %. З підвищенням частки спадковості голштинської породи спостерігалось зниження довічних надоїв: у корів різних генотипів української чорно-рябої молочної породи різниця за цим показником була менш помітною і здебільшого невірною, а у особин української червоно-рябої молочної породи з підвищенням спадковості голштинів понад

---

<sup>31</sup> Клопенко Н. І., Ставецька Р. В. Генетична детермінація господарського використання корів молочного напрямку продуктивності за вбирного схрещування. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2015. Вип.1. С. 23-28.

<sup>32</sup> Хмельничий Л. М. Опінка корів українських чорно-рябої та червоно-рябої молочних порід у порівнянні з голштинською худобою датської селекції за показниками довголіття. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Тваринництво». 2017. Вип. 7(33). С. 96-106.

<sup>33</sup> Хмельничий Л. М., Вечорка В.В. Продуктивне довголіття корів молочної худоби в аспекті впливу генотипових та паратипових чинників. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Тваринництво». 2017. Вип. 7(33). С. 106-120.

<sup>34</sup> De Vries A. Economic trade-offs between genetic improvement and longevity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, Is. 6. P. 4184–4192. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11847>

<sup>35</sup> Tsuruta S., Lourenco D. A. L., Misztal I., Lawlor T. J. Genomic analysis of cow mortality and milk production using a threshold-linear model. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, Is. 9. P. 7295–7305. doi: [10.3168/jds.2017-12665](https://doi.org/10.3168/jds.2017-12665)

<sup>36</sup> Hutchison J. L., VanRaden P. M., Null D. J., Cole J. B., Bickhart D. M. Genomic evaluation of age at first calving. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, Is. 8. P. 6853–6861. doi: [10.3168/jds.2016-12060](https://doi.org/10.3168/jds.2016-12060)

75% довічні надії вірогідно ( $P < 0,01-0,001$ ) знижувалися. Інтенсивність молокоутворення (надій на один день життя, продуктивного використання та лактування) найвищою була у корів з високою часткою спадковості голштинів.

Питання впливу умовної кровності за голштинською породою на господарськи корисні ознаки молочної худоби, зокрема й на показники продуктивного довголіття корів, розглядається у багатьох наукових працях<sup>37,38,39,40</sup>, автори яких приходять до висновку, що голштинізація молочних порід великої рогатої худоби поряд із істотним підвищенням молочної продуктивності та покращенням екстер'єрних якостей помісних за голштином корів має тенденцію до скорочення тривалості їх продуктивного довголіття. Особливо гостро ця проблема спостерігається у висококровних тварин зі спадковістю поліпшуючої породи понад 75%. Така закономірність спостерігалася і у наших дослідженнях також. Зумовлена вона природним антагонізмом, тобто зворотною співвідносною мінливістю між молочною продуктивністю і тривалістю господарського використання.

Важливу роль в ефективності селекції відіграє розведення тварин за лініями. Цей метод дотепер залишається провідним у поліпшенні створених та існуючих порід і типів тварин. При використанні генетичних принципів розведення за лініями необхідно досконало вивчити генеалогічну структуру піддослідних порід, виявити кращі генеалогічні формування і намітити найбільш перспективні для подальшого їхнього вдосконалення, встановити можливості використання ефекту поєднування.

Нами встановлено, що серед поголів'я голштинської породи найдовшою тривалістю продуктивного використання та найвищими довічними надоями характеризувалися корови лінії Хенева 1629391, серед української чорно-рябої

молочної – тварини лінії Р. Сайтейшна 267150, а серед української червоно-рябої молочної – корови лінії Інгансе 343514. Найгіршими за названими показниками виявилися тварини лінії Дж. Бесна 5694028588 у голштинській та українській чорно-рябій молочної породах та корови

---

<sup>37</sup> Полупан Ю. П. Ефективність довічного використання корів: до методики групування і впливу умовної кровності. Розведення і генетика тварин. 2014. Вип. 48. С. 98-113.

<sup>38</sup> Хмельничий Л. М., Вечорка В. В. Особливості спадкового впливу умовної кровності голштинської породи на показники довголіття корів української червоно-рябої молочної породи. Розведення і генетика тварин. 2016. № 51. С. 170-177.

<sup>39</sup> Полупан Ю. П. Генетична детермінація тривалості та ефективності довічного використання чорно-рябої молочної худоби. Розведення і генетика тварин. 2015. № 49. С. 120-133.

<sup>40</sup> Хмельничий Л. М., Вечорка В. В., Бондарчук В. М. Продуктивне довголіття корів молочної худоби в аспекті впливу генотипових та паратипових чинників. Вісник Сумського національного аграрного університету. 2017. Вип. 7 (33). С. 106-120.

лінії Елевейшна 1491007 з поміж поголів'я української червоно-рябої молочної породи.

Отже, показники продуктивного довголіття корів молочних порід, безумовно, залежать від їх лінії, однак, проводячи добір тварин за лінією, також потрібно враховувати індивідуальну спадковість бугаїв.

Для формування високопродуктивних стад молочної худоби з тривалим господарським використанням при підборі тварин важливе значення має також лінійна належність матерів. Встановлено, що кращим продуктивним довголіттям серед тварин голштинської породи відзначалися корови, матері яких належали до ліній Р. Сайтейшна 267150 та Р. Совріна 198998, з поміж корів української чорно-рябої молочної породи – до ліній Х. Адема 37910, Дюрка 6501, Р. Совріна 198998 та С. Т. Рокіта 252803, а української червоно-рябої молочної породи – до ліній Хенева 1629391, С'юпріма 288659, Рігела 352882 та Р. Совріна 198998.

У популяції голштинської породи найнижчими показниками продуктивного довголіття характеризувалися корови, матері яких належали до лінії Адема 26781, української чорно-рябої молочної породи – до лінії Белла 1667366 та української червоно-рябої молочної породи – до ліній Інгансе 343514, Кевеліе 1620273 та Чіфа 1427381.

Для секційної практики значний інтерес представляє підбір тварин у різних поєднаннях материнських і батьківських ліній. З поміж корів голштинської породи найвищими показниками продуктивного використання, кількості лактацій за життя, довічного надою та довічної кількості молочного жиру відзначалися тварини, одержані від поєднання ліній Белла (мати) та Елевейшна (батько), з поміж корів української чорно-рябої молочної породи – тварини, одержані від кросу ліній Елевейшна–С. Т. Рокіта та з поміж особин української червоно-рябої молочної породи – тварини, одержані від кросу ліній Хенева–Старбака. Найбільш невдалими кросами у голштинській породі виявилися всі поєднання, коли мати належала до лінії Адема, в українській чорно-рябій молочній породі – кроси ліній Елевейшна–Бутмейке, Елевейшна–Белла, Белла–Елевейшна, Белла–Старбака, Белла–Чіфа, Чіфа–Старбака, А. Адема–Старбака, в українській червоно-рябій молочній породі – кроси ліній Чіфа–Елевейшна та Інгансе–Елевейшна.

За внутрішньолінійного підбору кращими за показниками продуктивного довголіття серед корів голштинської породи виявилися тварини, батько і мати яких належали до лінії Елевейшна, серед корів української чорно-рябої молочної породи – тварини, батьківські пари яких належали до лінії Валіанта, а серед корів української червоно-рябої молочної породи – особини, батько й мати яких належали до лінії Хенева.

У цілому кращими показниками тривалості та ефективності довічного використання характеризувалися корови, одержані шляхом міжлінійної підбору батьківських пар (виняток – довічний надій та довічна кількість молочного жиру у корів української чорно-рябії молочної породи).

На думку Ю. П. Полупана<sup>41</sup>, результативну селекцію на покращення показників продуктивного довголіття корів можна здійснювати через переважне використання бугаїв-поліпшувачів і плідників кращих заводських ліній за умови значного рівня диференціації між групами напівсестер за батьком і різної лінійної належності.

Донині одним із найбільш суперечливих питань у селекції сільськогосподарських тварин залишається застосування інбридингу. Якщо аутбридинг – найпростіший, найдоступніший і найнадійніший метод підтримки бажаного рівня продуктивності та високої життєздатності тварин, міцної конституції та здоров'я, пристосованості до умов зовнішнього середовища, то інбридинг, як метод селекції, застосовується лише в особливих, виняткових випадках для вирішення конкретних завдань плеємінної справи, пов'язаних із створенням нових і вдосконаленням існуючих порід, а також з внутрішньолінійним чистопорідним розведенням, що використовується при закладці і вдосконаленні заводських ліній. Однак, селекціонери за допомогою

застосування аутбридингу поряд з інбридингом у потомстві поєднують різні цінні ознаки, властиві двом різним неспорідненим тваринам. Нами встановлено, що споріднене спаровування тварин, незалежно від породи, дає змогу одержати потомків із кращими показниками продуктивного довголіття, аніж неспоріднене. При цьому потрібно враховувати коефіцієнт інбридингу, оскільки його зниження менше 0,78 та збільшення понад 12,5 призводить до суттєвого погіршення як тривалості продуктивного використання корів, так і їх довічних надоїв. Інбредна депресія була виявлена лише у тварин голштинської породи, які одержані за допомогою тісного інбридингу. На це вказує суттєве зниження більшості показників їх продуктивного довголіття.

Корови вітчизняних молочних порід, які одержані шляхом тісного інбридингу, навпаки, відзначалися дещо вищими показниками тривалості та ефективності довічного використання порівняно з аутбредними тваринами. Однак, через низьку чисельність тварин, отриманих за тісного інбридингу, ми не можемо зробити достовірний висновок щодо останньої закономірності.

---

<sup>41</sup> Полупан Ю. П. Вплив походження за батьком і лінійної належності на господарські корисні ознаки корів. Вісник Сумського національного аграрного університету. 2014. Вип. 7 (26). С. 3-11.

Загалом інбредні тварини характеризувалися вищими показниками продуктивного довголіття порівняно з аутбредними. Серед інбредних тварин за більшістю досліджуваних показників кращими виявилися корови, одержані за близького та помірнього інбридингу.

Тривалість продуктивного використання та довічна продуктивність обумовлюється як паратиповими, так і генетичними чинниками. При цьому важливого значення набуває характер успадкування цих ознак, що визначається досить складною взаємодією генів, яка може бути адитивною і неадитивною. За адитивного успадкування дія генів підсумовується, посилюючи розвиток такої ознаки як високий надій, величина якого залежить від кількості діючих генів. За неадитивної дії гена фенотиповий прояв одного гена не обов'язково підсумовується з фенотиповим проявом іншого, а можуть взаємодіяти члени алейної пари або ж дві окремі неалельні пари генів. Одним із видів неадитивного прояву генів є понаддомінування, який позитивно впливає на адаптацію та життєздатність організму, а тому він є бажаним при розведенні тварин. Методи добору та підбору для адитивного й неадитивного успадкування відрізняються. У зв'язку з цим важливо знати який тип генів має та чи інша ознака і як найкращим чином поєднати ці обидві форми успадкування.

Нами встановлено, що понад 75 % тварин голштинської, українських чорно– та червоно-рябої молочних порід мали адитивний характер прояву генів і лише 21,0-24,2 % – неадитивний. За адитивного прояву генів у більшості корів було відмічено проміжний тип успадкування надою, а за неадитивного – понаддомінування.

Для створення високопродуктивних стад молочної худоби з довшою тривалістю продуктивного використання при доборі тварин слід надавати перевагу коровам з формою успадкування надою понаддомінування та домінування матері й домінування батька, оскільки ці тварини у більшості випадків характеризувалися найвищими показниками тривалості життя, продуктивного використання, лактування і довічної продуктивності. Серед досліджуваних форм успадкування надою найменш бажаною є регресія. У корів даної групи відмічено значно нижчі довічні надії і вони передчасно вибували зі стада.

Відомо, що добір корів за племінною цінністю їх предків сприяє зростанню надою у стаді та підвищенню ефективності їх використання, що дає можливість проведення ефективного добору тварин у ранньому віці. Нами встановлено, що корови, предки яких мали додатні значення селекційних індексів, відзначалися здебільшого найвищими надоями за 305 днів першої лактації, а в подальшому ці тварини менше використовувалися у стадах і, відповідно, характеризувалися нижчою довічною продуктивністю порівняно з особинами, матері, батьки, матері

матерів, батьки матерів, матері батьків та батьки батьків яких мали від'ємні значення селекційних індексів. Тобто, чим більше у родоводі корови високопродуктивних предків, тим продуктивнішою буде сама корова.

Нами також встановлено, що рівень надою жіночих предків за першу та кращу лактації, не залежно від породи, більше впливав на надій нащадків за ці лактації, ніж на їх продуктивне довголіття. Висока продуктивність матерів, матерів матерів та матерів батьків у більшості випадків призводила до скорочення тривалості продуктивного використання і лактування дочок та внучок, зниження їх довічної продуктивності та передчасного вибуття зі стада. Серед тварин голштинської породи кращими показниками тривалості продуктивного використання, лактування і довічних надоїв характеризувалися корови, надій матерів та матерів матерів яких за першу та кращу лактацію був не нижчим за 4500 та не вищим за 9500 кг. Щодо тварин вітчизняних порід, то найдовше використовувалися у стадах потомки, одержані від низькопродуктивних жіночих предків (надій матерів і матерів матерів за першу та кращу лактацію не перевищував 4500 кг). Більшість із них характеризувалися ще й найвищими довічними надоями. Слід відмітити, що у корів української чорно-рябої молочної породи, одержаних від високопродуктивних жіночих предків (надій за першу та кращу лактації понад 8500 кг) довічний надій за своїм рівнем наближався до довічного надою потомків, матерями і матерями матерів яких були низькопродуктивні корови. Однак, кількість лактацій за життя у них була мінімальною і не перевищувала 2 лактацій. Серед тварин української червоно-рябої молочної породи такої тенденції не спостерігалось: із підвищенням рівня надою матерів та матерів матерів за першу і кращу лактації тривалість продуктивного використання, лактування, кількість лактацій за життя і довічний надій у їх нащадків знижувалися.

Спостерігалася певна залежність продуктивного довголіття корів від надою їх матерів батьків за кращу лактацію. З поміж тварин голштинської породи найвищими показниками тривалості продуктивного використання, лактування, кількості лактацій за життя та довічного надою відзначалися корови, надій матерів батьків яких становив 7500-9500 кг, а серед тварин вітчизняних порід – не перевищував 7500 кг.

Проведений нами кореляційний аналіз господарськи корисних ознак корів молочних порід з показниками їх продуктивного довголіття підтверджує можливість проводити прогнозуючий добір тварин з метою формування високопродуктивного стада з тривалим господарським використанням. Найбільшу прогностичну цінність ( $P < 0,001$ ) за показниками тривалості життя, продуктивного використання, лактування, кількості лактацій за життя, довічного надою і довічної кількості молочного жиру мають надій корів за першу ( $r = -0,217$  –

+0,205) і кращу лактації ( $r=+0,061 - +0,609$ ), селекційні індекси предків по батьківській лінії (Б, МБ та ББ) ( $r=-0,283 - +0,096$ ) та надій матері за першу лактацію ( $r=-0,194 - +0,084$ ). Доцільно зауважити, що надій корів за першу лактацію та селекційні індекси їх предків здебільшого негативно, однак високовірогідно, корелюють з тривалістю життя, продуктивного використання, лактування та кількістю лактацій за життя потомків.

Характер і напрям встановлених зв'язків між показниками продуктивного довголіття корів та тривалістю їх першого сервіс-періоду ( $r=-0,462 - +0,106$ ), живою масою у період вирощування ( $r=-0,286 - +0,126$ ) дозволяють також проводити опосередкований прогностичний добір тварин. Варто звернути увагу на те, що у корів різних порід тривалість першого сервіс-періоду достовірно впливала як на показники їх довголіття (тривалість життя, продуктивного використання, лактування і кількість лактацій за життя), так і на довічну продуктивність (довічний надій та довічна кількість молочного жиру), проте певної закономірності щодо залежності цих показників від живої маси тварин у період їх вирощування не спостерігалось.

Коефіцієнти кореляції між живою масою при першому отеленні корів досліджуваних порід та показниками їх продуктивного довголіття були слабкими і в основному мали від'ємні значення. Такий характер зв'язків підтверджує, що підвищення живої маси первісток при першому отеленні понад оптимальне значення для конкретної породи може призводити до скорочення тривалості їх продуктивного використання і лактування.

Кореляційним аналізом встановлено, що добір корів за віком першого отелення та тривалістю першої лактації не має суттєвого значення, оскільки зв'язок між цими ознаками та показниками продуктивного довголіття практично відсутній.

Згідно одержаних нами результатів, добір тварин за походженням від матерів-довгожительок та високопродуктивних матерів також не є достатньо надійним, оскільки коефіцієнти кореляції між показниками продуктивного довголіття дочок і матерів були невисокими та здебільшого невірогідними ( $r=-0,19 - +0,27$ ), що вказує на низький ступінь успадкування цих ознак ( $h^2=0,02-0,54$ ).

За допомогою дисперсійного аналізу нами встановлено, що найбільший вплив на показники продуктивного довголіття корів молочних порід справляли генетичні чинники, тобто походження за батьком ( $\eta_x^2=9,9-29,3$  %,  $P<0,001$ ), умовна кровність за голштинською породою ( $\eta_x^2=5,8-34,3$  %,  $P<0,001$ ) та лінійна належність ( $\eta_x^2=4,6-19,8$  %,  $P<0,001$ ). Серед паратипових чинників на продуктивне довголіття корів найсуттєвіше впливав фактор «стадо» ( $\eta_x^2=2,9-28,7$  %,  $P<0,001$ ) і значно



менший вплив мали рік народження ( $\eta_x^2=0,6-5,7\%$ ,  $P<0,001$ ) й першого отелення ( $\eta_x^2=0,5-4,8\%$ ,  $P<0,001$ ) та сезон народження ( $\eta_x^2=0,1-7,4\%$ ) й першого отелення ( $\eta_x^2=0,1-4,9\%$ ,  $P<0,01-0,001$ ).

Таким чином, урахування впливу вищенаведених чинників поряд із належним рівнем годівлі та утримання тварин, починаючи з раннього віку, безумовно сприятиме підвищенню показників довічної продуктивності та подовженню тривалості їх господарського використання.

## **ВИСНОВКИ**

На мінливість продуктивного довголіття молочної худоби суттєво впливають умови утримання у конкретному господарстві, дещо менше – рік і сезон народження та першого отелення тварин. Найвищими показниками тривалості та ефективності довічного використання відзначалися тварини, народжені в осінньо-зимовий період. За сезоном першого отелення корів досліджуваних порід жодної закономірності не спостерігалось, а рік народження й першого отелення майже однаково впливав на показники їх продуктивного довголіття.

Висока продуктивність як корів, так і їх жіночих предків у більшості випадків призводила до скорочення тривалості продуктивного використання і лактування дочок та внучок, зниження їх довічної продуктивності та передчасного вибуття зі стада.

Дочки корів-довгожительок голштинської породи за показниками тривалості й ефективності довічного використання поступалися не лише своїм матерям, але й середньому по стаду. Потомки довгожительок українських чорно– та червоно-рябої молочних порід відзначалися дещо вищими показниками продуктивного довголіття, ніж в середньому по стаду.

Кращими показниками продуктивного довголіття відзначалися: чистопородні тварини вітчизняних порід порівняно з помісями; корови, одержані за міжлінійною підбору батьківських пар, ніж за внутрішньолінійною та інбредні тварини порівняно з аутбредними. Корови, одержані за помірного та близького ступенів помітно вирізнялися за ознаками продуктивного довголіття з поміж тварин, одержаних за віддаленого й тісного ступенів.

Тварини за неадитивного типу успадкування надою характеризувалися довшою тривалістю продуктивного використання та вищими довічними надоями, ніж особини з адитивним успадкуванням.

Кореляційний аналіз свідчить, що найбільш теоретично вмотивованими і практично придатними критеріями прогнозування показників продуктивного довголіття є надій корів і їх матерів за першу та селекційні індекси предків по батьківській лінії.

## АНОТАЦІЯ

Актуальною проблемою сучасності в селекції молочної худоби як світового масштабу, так і України зокрема, є збільшення тривалості господарського використання тварин. Враховуючи те, що підвищення молочної продуктивності корів призводить до скорочення термінів їх використання, ця проблема з часом буде лише загострюватися. Тому, наразі необхідно спрямовувати наукові дослідження на комплексну оцінку тварин з урахуванням ознак довічної продуктивності.

У роботі наведено результати вивчення показників продуктивного довголіття корів голштинської, української чорно– та червоно-рябої молочних порід. З'ясовано характер впливу на них різних генетичних та середовищних факторів та прояви фенотипічних ознак. Встановлено оптимальні параметри та отримано нові дані щодо систематизації факторів, що впливають на продуктивне довголіття молочної худоби. Найбільшу прогностичну цінність ( $P < 0,001$ ) за показниками тривалості життя, продуктивного використання, лактування, кількості лактацій за життя, довічного надою та довічної кількості молочного жиру, за результатами кореляційного аналізу, мали удій корів за першу та кращу лактацію, удій матері за першу лактацію, селекційні індекси предків по батьківській лінії. Доведено ненадійність прогнозування ефективності довічного використання корів за показниками їхньої живої маси в період вирощування, віком першого отелення, тривалістю першого сервіс-періоду, тривалістю першої лактації та промірами тіла. За даними дисперсійного аналізу, найбільший вплив на продуктивне довголіття молочної худоби з числа генетичних факторів надавали походження по батькові, умовна частка спадковості голштинів та лінійна приналежність тварин, серед паратипових факторів – фактор «стадо».

## Література

1. Гиль М. І. Аналіз молочної продуктивності та ефекту відбору корів різних порід в умовах ТОВ «Колос-2011» Миколаївської області. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. Вип. 3. С. 159–170.
2. Черненко О. М. Ефективність довічного використання корів різних типів стресостійкості. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2010. Вип. 1. Т. 2. С. 107-112.
3. Даниленко В. П. До питання ефективності використання молочних порід у господарстві. *Розведення і генетика тварин*. 2012. Вип. 46. С. 63–66.
4. Новак І. В. Вплив генотипу на тривалість продуктивного використання корів та причини їх вибуття. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжизького*. 2016. Т. 18. №2 (67). С. 292-295. doi:10.15421/nvlvet6763

5. Полупан Ю. П. Ефективність довічного використання корів: до методики групування і впливу умовної кровності. *Розведення і генетика тварин*. 2014. Вип. 48. С. 98-113.

6. Хмельничий Л. М., Вечорка В.В. Особливості спадкового впливу умовної кровності голштинської породи на показники довголіття корів української червоно-рябої молочної породи. *Розведення і генетика тварин*. 2016. №51. С. 170-177.

7. Langford F. M. Culled early or culled late: economic decisions and risks to welfare in dairy cows. *Animal Welfare*. 2012. Vol. 21. P. 41–55. doi: <https://doi.org/10.7120/096272812X13345905673647>

8. Pritchard T., Coffey M., Mrode R., Wall E. Genetic parameters for production, health, fertility and longevity traits in dairy cows. *Animal*. 2013. Vol. 7. P. 34–46. doi: [10.1017/S1751731112001401](https://doi.org/10.1017/S1751731112001401)

9. Strapakova E., Candrak J., Strapak P., Trakovicka A. Genetic evaluation of the functional productive life in Slovak Simmental cattle. *Arch. Tierzucht*. 2013. Vol. 56. P. 797–807. doi: <https://doi.org/10.7482/0003-9438-56-079>

10. Mészáros G., Fuerst C., Furest-Waltl B., Kadlečik O., Kasarda R., Sölkner J. Genetic evaluation for length of productive life in Slovak Pinzgau cattle. *Arch. Tierzucht*. 2008. Vol. 51. P. 438–448. doi: <https://doi.org/10.5194/aab-51-438-2008>

11. Olechnowicz J., Kneblewski P., Jaśkowski J. M., Włodarek J. Effect of selected factors on longevity in cattle: a review. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2016. Vol. 26(6). P. 1533-1541.

12. Jankowska M., Sawa A., Kujawska Y. Effect of certain factors on the longevity and culling of cows. *Acta Scientiarum Polonorum, Zootechnica*. 2014. Vol. 13 (2). P. 19-30.

13. Бащенко М. І., Гладій М. В., Мельник Ю. Ф., Єфіменко М. Я., Кругляк А. П., Полупан Ю. П., Вишневський Л. В., Бірюкова О. Д., Кругляк О. В., Прийма С. В., Кузєбний С. В. Стан і перспективи розвитку молочного скотарства України. *Розведення і генетика тварин*. 2017. Вип. 54. С. 6–14.

14. Данець Л. М. Вплив живої маси телиць на тривалість їхнього життя. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2015. Вип. 2 (27). С. 41-43.

15. Гавриленко М. С. Довічна продуктивність корів української чорно-рябої породи залежно від віку їхнього першого отелення. *Розведення і генетика тварин*. 2003. Вип. 35. С. 19-26.

16. Хмельничий Л. М., Лобода В. П. Продуктивність корів української червоно-рябої молочної породи залежно від показників відтворної здатності. *Розведення і генетика тварин*. 2014. № 48. С. 143-150.

17. Ставецька Р. В., Бойко О. В. Вплив тривалості сервіс-періоду на показники молочної продуктивності та господарського використання молочних корів. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2015. № 2. С. 205-210.

18. Пославська Ю. В., Федорович Є. І., Боднар П. В. Тривалість та ефективність довічного використання корів залежно від їх надою за першу та другу лактації. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького*. 2017. Т. 19, №74. С. 175–181. doi:10.15421/nlvvet7439

19. Хмельничий С. Л. Тривалість життя корів української чорно-рябої молочної породи в залежності від рівня оцінки лінійних ознак будови тіла. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2016. Вип. 5(29). С. 98–105.

20. Полупан Ю. П. Генетична детермінація тривалості та ефективності довічного використання чорно-рябої молочної худоби. *Розведення і генетика тварин*. 2015. Вип. 49. С. 118–133.

21. Хмельничий Л. М., Салогуб А. М., Бондарчук В. М., Шевченко А. П. Молочна продуктивність корів одержаних при внутрішньолінійному підборі та міжлінійних кросах. *Науково-теоретичний збірник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2015. Т.3, №2(52). С. 51–56.

22. Effa K., Hunde D., Shumiye M., Silasie R. H. Analysis of longevity traits and lifetime productivity of crossbred in the Tropical Highlands of Ethiopia. *Journal of Cell and Animal Biology*. 2013. Vol. 7, No. 11. P. 138–143.

23. Гончаренко І. В. Тривалість господарського використання молочних корів як ознака селекції. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 6. С. 37-39.

24. Martens H., Bange Chr. Longevity of high producing dairy cows: a case study. *Lohmann Information*. 2013. Vol. 48 (1), P. 53–57.

25. Murray B. Finding the fools to achieve longevity in Canadian dairy cows. *WCDS Advances in Dairy Technology*. 2013. Vol. 25. P. 15–28.

26. Albert De Vries. Cow longevity economics: The cost benefit of keeping the cow in the herd. *Cow Longevity Conference*. 2013. P. 22–52.

27. Dutch herds increase lifetime production and longevity: URL: <http://www.crv4all.com/dutch-herds-increase-lifetime-production-and-longevity>.

28. Басовський Д. М. Методичні підходи щодо оцінки генетичної цінності бугаїв молочних порід за комплексом ознак у Північній Америці. *Розведення і генетика тварин*. 2014. Вип. 48. С. 18-23.

29. Клопенко Н. І., Ставецька Р. В. Генетична детермінація господарського використання корів молочного напрямку продуктивності за вбирного схрещування. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2015. Вип.1. С. 23-28.

30. Хмельничий Л. М. Оцінка корів українських чорно-рябої та червоно-рябої молочних порід у порівнянні з голштинською худобою датської селекції за показниками довголіття. *Вісник Сумського*

національного аграрного університету. Серія «Тваринництво». 2017. Вип. 7(33). С. 96-106.

31. Хмельничий Л. М., Вечорка В.В. Продуктивне довголіття корів молочної худоби в аспекті впливу генотипових та паратипових чинників. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Тваринництво»*. 2017. Вип. 7(33). С. 106-120.

32. De Vries A. Economic trade-offs between genetic improvement and longevity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, Is. 6. P. 4184–4192. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11847>

33. Tsuruta S., Lourenco D. A. L., Misztal I., Lawlor T. J. Genomic analysis of cow mortality and milk production using a threshold-linear model. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, Is. 9. P. 7295–7305. doi: 10.3168/jds.2017-12665

34. Hutchison J. L., VanRaden P. M., Null D. J., Cole J. B., Bickhart D. M. Genomic evaluation of age at first calving. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, Is. 8. P. 6853–6861. doi: 10.3168/jds.2016-12060

35. Хмельничий Л. М., Вечорка В. В., Бондарчук В. М. Продуктивне довголіття корів молочної худоби в аспекті впливу генотипових та паратипових чинників. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2017. Вип. 7 (33). С. 106-120.

36. Полупан Ю. П. Вплив походження за батьком і лінійної належності на господарські корисні ознаки корів. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2014. Вип. 7 (26). С. 3-11.

#### **Information about the authors:**

**Mazur Nataliya Petrivna,**

Doctor of Agricultural Sciences,

Leading Researcher at the Animal Breeding and Selection Laboratory

Institute of Animal Biology of the National Academy

of Agrarian Sciences of Ukraine

38, V. Stus str., Lviv, 79034, Ukraine

Senior Lecturer at the Department of Technology of Production and

Processing of Animal Husbandry Products

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and

Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Fedorovych Yelyzaveta Illivna,**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,

Head of the Animal Breeding and Selection Laboratory

Institute of Animal Biology of the National Academy

of Agrarian Sciences of Ukraine

38, Vasylia Stusa str., Lviv, 79034, Ukraine

**ECONOMIC EFFICIENCY OF PRODUCTION  
OF MEAT LIVESTOCK PRODUCTION**

**Mylostyva D. F., Farafonov S. Zh., Ryvak R. O.**

**INTRODUCTION**

Transition of Ukrainian economy to the market is caused by fundamental changes in the concepts of development of all branches of agriculture. Intensification of animal husbandry based on the introduction of advanced technologies of production causes the need for specialization of industries, their complementarity, and in connection with this and a significant restructuring of the type of used' animals.

The problem of meat production has been one of the most important tasks in the agricultural sector of Ukraine for many years. At present, the level of production of this valuable product does not correspond to scientifically based human nutrition standards. As world practice shows, one of the main directions for increasing beef production is the development of specialized beef cattle breeding.

In modern economic conditions increase of efficiency of beef cattle production is one of the key conditions of intensive development of this branch of livestock breeding, providing the country's population with high-quality beef and growth of competitiveness of domestic products. In this connection, the study of economic efficiency of meat production from beef cattle is of particular importance not only for an individual agricultural commodity producer, but also for the industry and the country as a whole.1.

The efficiency of agricultural production, including beef cattle breeding products, as noted earlier, affects many factors of internal and external environment, which must be taken into account to ensure the effective development of the industry and agriculture as a whole. Meat cattle breeding in Ukraine is still at the stage of formation and active development due to the urgent need to ensure food security of the country. At the same time, in a number of foreign countries this livestock industry is characterized by intensive development, and beef cattle is the main source of beef produced in the country.

The efficiency of agricultural production, including beef cattle breeding products, as noted earlier, affects many factors of internal and external environment, which must be taken into account to ensure the effective development of the industry and agriculture as a whole. Meat cattle breeding in Ukraine is still at the stage of formation and active development due to the urgent need to ensure food security of the country. At the same time, in a

number of foreign countries this livestock industry is characterized by intensive development, and beef cattle is the main source of beef produced in the country.

### **1. Target and economic efficiency of the development of the beef cattle breeding industry**

The lack of specialized beef cattle in Ukraine, low efficiency and high cost of imports predetermined the need to breed beef cattle taking into account the conditions of soil and climate zones. Since 1972, at the initiative of domestic scientists, the methodology of creating domestic beef breeds and further development of specialized beef cattle breeding in Ukraine was developed. In different natural and geographical zones of Ukraine 18 breeding farms were created to breed Ukrainian beef cattle. As a result of this work Ukrainian (1993), Volyn (1994) and Polissya (1999) beef cattle breeds were created and approved.<sup>1</sup> Now the work on creation of Znamenska, southern and Simmentalska beef cattle breeds is successfully continued. Commercial beef cattle breeding is developing especially rapidly in Polesie, which is predetermined by natural-economic, social and environmental factors.<sup>2</sup>

As of 01.01.2020 there are 52 subjects of pedigree business in Ukraine, which have 25674 heads of beef productive breeding cattle (including bulls – 296 heads, cows – 10654 heads), including 18715 heads contained in breeding studios, 6959 heads – in breeding reproducers. The beef breeding cattle are bred in 16 regions of Ukraine. The largest number of beef cattle is concentrated in the north and west of the country. The leaders in number are Volyn and Chernihiv regions, where concentrated 32 and 20% of breeding cattle beef direction of productivity. In Lviv region there are about 1.8 thousand beef cattle. Among the central regions of Ukraine beef cattle breeding is most developed in Cherkassy region (1,4 thousand heads) and Zhytomyr region (1,6 thousand heads). In the eastern and southern regions the livestock does not reach even 1 thousand, except for Dnipropetrovsk region (1.6 thousand heads).

Tribal resources of cattle breeding, taking into account natural and economic zones in all regions of Ukraine are distributed unevenly. In the contaminated areas, in Polissya their number is more than 50%, in the forest-steppe zone – 30% in the Steppe regions – about 20%. Natural and climatic conditions of Ukraine are favorable for the creation of a developed industry of beef cattle breeding. In the areas of the Forest-steppe and Steppe, farms specialize in the production of grain, sugar beets. In the structure of fodder

---

<sup>1</sup> Дзіцюк В. В. Сучасний стан і перспективи розвитку м'ясного скотарства в Україні. <http://agro.ua.net/animals/catalog>

<sup>2</sup>Каталог бугаїв м'ясних порід та типи племінних підприємств в Україні для відтворення племінного поголів'я в 2015. Київ, 2015, 53 с.

production about 80% is straw, other coarse and succulent fodder, which can be most rationally used by beef cattle. Since pastures should be an integral part of the beef cattle breeding industry, special technologies of creation and long-term use of pastures based on specially selected grass varieties have been developed for different natural and climatic zones of the country.

In order to successfully develop beef cattle breeding, given the diversity of natural and climatic zones of Ukraine, it is necessary to have more meat breeds, to create their «market», which would number at least 15-20 meat breeds. For each zone, it is necessary to have several meat breeds that crossbreed well with each other as well as with livestock zoned dairy breeds. Natural and climatic conditions in Ukraine are favorable for the creation of a developed industry of beef cattle breeding. For different natural and climatic zones of the country, special technologies for the creation and long-term use of pastures based on specially selected varieties of grasses, which could become an integral part of the beef cattle breeding industry.

## **2. Analysis of the development of the beef cattle breeding industry in Ukraine**

The largest number of breeding beef cattle is kept in breeding farms of Volyn, Chernihiv, Lviv, Dnipropetrovsk and Zhitomir regions. Less developed is pedigree beef cattle breeding in Rivne, Kherson and Poltava regions. According to the analysis, from 2019 to 2020 significantly (by 46-47%) decreased the number of beef cattle in Kherson, Rivne and critically (by 71%) in Odessa region.<sup>3</sup>

The dynamics of the number and development of breeds requires constant detailed analysis and generalization of breeding information. Conducting such an analysis we can state a decrease in the number of breeding animals by 7% for the last year (since January 1, 2019) and by 18-20% for the last 5 years. During this time 35 breeding farms have not confirmed their breeding status, reorganized and went bankrupt.

Today in Ukraine butcher cattle breed 11 breeds, including 6 breeds of domestic selection, namely Ukrainian beef cattle, Volyn beef cattle, Polesian beef cattle (including Polesian beef cattle breed of Znamensky type), Simmental beef cattle breed, Southern beef cattle, Ukrainian gray and 5 breeds of foreign selection: Aberdeen Angus, Charolais, Limousin, Light Akvitan, Hereford (figure 1).

Aberdeen-Angus breed is the most numerous breeding stock in Ukraine. The specific weight of the number of cows of the breed in the total breeding

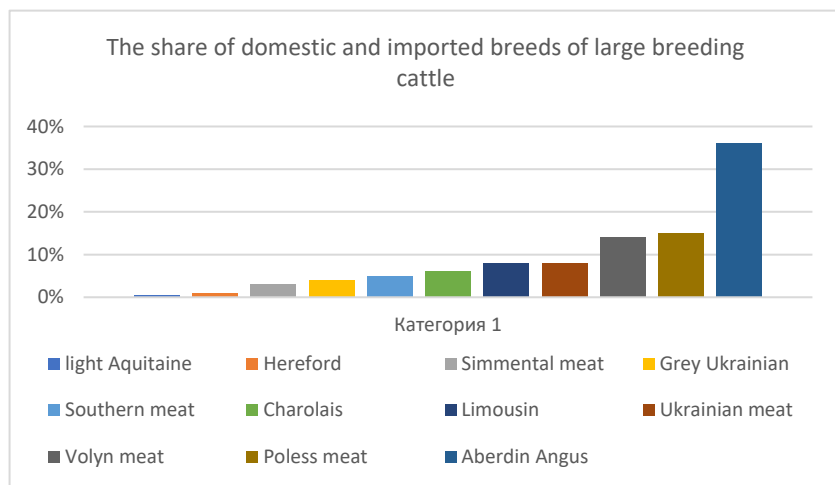
---

<sup>3</sup> Лаврук А., Лаврук В. Проблемы возрождения и развития отрасли животноводства в Украине. *Przegląd wschodnioeuropejski X/1 2019: 201–213*



beef herd is 36%. There are 9345 heads of pedigree Aberdeen-Angus cattle in total, from them 102 bulls and 3712 cows.<sup>4</sup>

Polesian breed ranks second (15%) in the number of breeding beef cattle. The total breeding stock is 3152 heads (2388 heads in breeding plants, 764 heads in breeding reproducers). The third largest in Ukraine is the Volyn beef cattle. The breeding stock is 3503 heads, they breed in 7 breeding farms, including 1516 heads in stud farms, 304 heads in breeding reproducers.<sup>5</sup>



**Fig. 1. The share of domestic and imported breeds of large breeding cattle in Ukraine**

Ukrainian Beef and Limousin breeds have 8% of the total number. The total number of breeding cattle of Ukrainian beef breed is 1977 heads in 2 breeding plants. Limousine breed is the fourth among foreign breeds of beef production. The total number of breeding stock of this breed is 1909 heads. This breed is bred in 4 breeding farms.<sup>6</sup>

The grey Ukrainian breed has 912 heads at 2 breeding enterprises (in the breeding plant – 740 heads, in Plemreproducer 172 heads).

Simmental meat breed is bred in a breeding plant and two breeding reproducers. The number of Simmental meat breed in Ukraine is 879 heads,

<sup>4</sup> Селекційно-генетичні та біологічні особливості породи абердин-ангус в Україні. Київ, 2002, 203 с.

<sup>5</sup> Програма розведення волинської м'ясної породи на 2002-2010 роки. Київ, 2003, 80 с.

<sup>6</sup> Програма розведення української м'ясної породи на 2002-2010 роки. Київ, 2003, 42 с.

of which 357 heads are registered in the breeding plant and 522 heads are breeding reproducers. – in breeding reproducers.<sup>7</sup>

During the period 2019-2020, the number of breeding stock of Simmental and southern beef breeds decreased by 32-60%, respectively.

The Charolais breed is bred in 4 breeding farms. The total number of representatives of the breed is 1627 heads, 869 of which are registered in breeding studios, 758 heads in breed reproducers. The specific weight of the breed by the number in Ukraine is 5%.

Over the past 5 years the breed composition of beef cattle breeding in Ukraine has not changed. In 2015 the same 11 breeds were allowed for breeding as at the beginning of 2020. But during this time the quantitative ratio of breeds has changed significantly. Aberdeen Angus remains the number leader all this time, while the number of gray Ukrainian cattle and Simmental beef breed in the structure of breeding stock decreased by 14-10% respectively. Volyn beef breed, on the contrary, consolidated its leading position and increased its representation by 2%. Since 2015, there is a tendency to increase the number of some breeds of foreign selection: Light Aquitanian, Hereford, Charolais and Limousin.<sup>8</sup>

In the leading beef-producing countries, beef cattle make up 60-90% of the total cattle population. In particular, according to the U.S. Department of Agriculture (USA), in 2019 the proportion of beef cows in Argentina and Uruguay reached 92% of the total number of cows, in Australia – 88%, in Canada – 79%, in the USA – 77%<sup>9</sup>. In this connection, we consider it appropriate to analyze and summarize the key factors contributing to the effective development of beef cattle breeding in foreign countries and in the advanced farms of our country.

It should be noted that fattening cattle with grain in small quantities was carried out in many countries of the world, including the USA, where modern large fattening sites began to appear in the 1960s. The results of the analysis showed that in the USA a large-scale system of cattle fattening was created, where the capacity of some feedlots reaches 30-50 and more thousand cattle, the cattle are renewed 2-2.25 times a year.

The total number of fattening cattle in the U.S. as of July 1, 2018 was 13.3 million head, 84.8% of which were in feedlots with a capacity of 1,000 or more head. Texas (2.7 million head), Nebraska (2.4 million head) and Kansas (2.2 million head) are leading the way for beef cattle in these feedlots. However, in Canada, where the technology for raising beef cattle is similar to the United States, the main beef cattle are concentrated in the western

---

<sup>7</sup> Супрун І. О., Гетья А. А., Рубан С. Перспективи використання генетичних ресурсів м'ясної худоби в Україні. Вісник серії СНАУ Тваринництво. 2015. Вип. 23, № 28. С. 42-49.

<sup>8</sup> Угнівенко А. М. Українська м'ясна порода. Київ 1994, 78 с.

<sup>9</sup> Statistics Canada: Canada's national statistical agency.

provinces, primarily in the province of Alberta, where as of January 1, 2019 it was 4.4 million head (47% of the total beef cattle herd in the country).

In Brazil, as we know, the largest population of beef cattle is represented by the Nelore (Zebu type) breed, which is well adapted to the tropical climate, but the young of this breed has lower weight gain compared to the mixed cattle, and the resulting meat has lower quality characteristics. In this regard, to create more productive livestock, Brazil subsidized imports of seed of Aberdeen Angus, Simmental, Limousin and other European beef cattle breeds<sup>10</sup>.

Experience of this and other countries shows that countries with developed beef cattle breeding use the best own breeds as well as foreign breeding resources for cross-breeding with local cattle for creation of highly productive breeding and marketable beef cattle population.

It is also noteworthy that the location of beef cattle across the country is largely determined by the availability and proximity of fodder resources required for each stage of cattle breeding. At that, as a rule, cows are kept in areas where forage fodder prevails, while rearing young cattle is concentrated in areas where fine grain crops (sorghum in particular) or nutritious grasses (clover, alfalfa and others) are grown. Feedlots are usually located in grain growing areas with favorable natural and climatic conditions for a long grazing period, because free-range housing in pens in open areas is the main way of keeping cattle for fattening, the advantage of which is their rapid construction and low capital costs per animal head.

Consequently, beef cattle breeding in the United States and Canada is characterized by high growth of production with the use of industrial fattening of cattle.

Most of them under the category «efficiency» understand the effectiveness, which reflects the ratio of the obtained results (effect) to the used resources or costs in one or another sphere of human activity. The effect can be expressed both in natural form (increase in production volume) and in monetary form (increase in income, profit). In this case, the effect expressed in kind, showing the final result of activity, does not reflect the amount of costs, at which this result was achieved. Whereas the cost form eliminates this disadvantage, presenting a more complete characteristic of costs in the production activity of economic entities of the market. Efficiency of production is a form of expression of the purpose of the economic entity of the market, reflects the action of objective laws of economics and the most important side of the production process – efficiency.

In agricultural production the main resource limiting economic activity is land. In this regard, economic efficiency should be understood as obtaining the maximum amount of agricultural production from each hectare of land, using the minimum cost of public labor per unit of production.

---

<sup>10</sup> Kahn, L. Cattle D. Beef Cattle Production and Trade. Csiro Publishing, 2014, 584.

### **3. Analysis and solution of the problem of beef cattle breeding in other countries**

In South America, in particular in such major beef producers as Brazil and Argentina, the extensive system of growing and fattening beef cattle has traditionally prevailed. However, since the early 2000s, intensive methods of rearing and fattening young cattle have been introduced into beef production in these countries.

The study shows that beef cattle in Argentina have historically been raised on pastures and natural feedlots, but with the increasing demand for beef, both domestically and abroad, the country has begun to increase the number of feedlots. This has also been facilitated by an increase in global demand for grains and oilseeds in the 2000s, which has led many traditional beef producers to switch to these crops. In Argentina today, about 80% of cattle are fattened with grain before slaughter, with cattle in the fattening areas for 120-150 days. One of the key factors contributing to the growth in the number of feedlots in the country in the context of rising prices for grains and oilseeds was the introduction by the Argentine government of a subsidy scheme for sectors, including feedlots that use grains and oilseeds as fodder for cattle.

Since Argentina is one of the world's leading countries in terms of per capita domestic consumption of this type of meat, its government has paid special attention to the regulation of beef production in the country. In particular, it has taken measures such as setting minimum slaughter yields and live weights for cattle, controlling beef prices, etc.

The development of intensive fattening in Australia, where, as of June 2019, the number of beef cattle exceeded 22 million head (90% of the total number of cattle in the country). In recent years, the number of feedlots in Australia has increased, with a capacity of up to 1 million head. Feedlots, as a rule, are located near places of grain production, which reduces the cost of transporting feed. Feedlot fattening before slaughter is common in southern Australia, where feedlots vary in capacity and the length of the fattening program, which is selected depending on the intended market. A short program (60-90 days) targets local markets, restaurants and cafes. A moderate program (90-180 days) is for domestic and foreign high quality markets. A long program (180 days or more) mainly targets markets in foreign countries where there is demand for high marbling meat.

The growth of feedlot cattle is also characteristic of Brazil, where the number of feedlot cattle has more than doubled since the early 2000s, which is also due to the growing demand for beef in world markets amid the increasing attractiveness of high-yield crops. Nevertheless, despite the increase in the number of feedlots in recent years, Brazil is dominated by a pastoral system of beef cattle rearing in which fodder occupies a small part of

the animals' diet and feedlot housing is mostly short-term, particularly during severe drought or rains, and just before the slaughter of cattle.

The availability of cheap fodder resources and almost year-round pastures result in relatively low costs of cattle meat production in Brazil, which, according to the analysis and synthesis of literature sources, are significantly lower than in Australia and the USA, which contributes to the high competitiveness of Brazilian beef in the world market. In southern Australia, due to the longer grazing period and the availability of fertile soils, cattle achieve higher gains at lower costs and in a shorter period of time than cattle raised in the northern zone.

Special attention should be paid to cattle housing conditions in Canada. In addition to the year-round open-air housing of beef cattle in Canada, three-wall buildings of simplified design with a walking area and 24-hour access to water and roughage are used which are not expensive to build. The floor in these buildings is covered with a thick layer of straw and has a slight slope towards the open wall, which in case of too cold winters is sometimes covered with different materials []. An important role is played by the correct location of these rooms, in particular, in windless valleys, on southern slopes.

It is necessary to take into account that keeping cattle in light cattle houses requires increased consumption of fodder in winter period. However, according to experts' estimates, the cost of additional fodder resources is lower than the cost of construction of enclosed premises of the capital type and their depreciation.

Thus, the international practice of fattening beef cattle in specialized fattening facilities before slaughter has proven to be an integral component of added value in beef production. Keeping cattle in fattening facilities increases their productivity and reduces the time required to bring the animal to the required weight, which significantly reduces the cost of beef production and improves the quality of the meat produced. At the same time, the fattening of young cattle on large fattening sites contributes to an increase in labor productivity and return on investment. Somewhat different is the position that considers the efficiency of production in relation to the degree of use of productive capacity. Production efficiency should be considered not only as ensuring a high ratio of results and costs, but also as the full use of the production and economic potential of the organization.

Indeed, the ability of an economic entity to realize its resource potential is the most important condition for ensuring the effectiveness of its production activities. In the aggregate, the efficiency of production activities of business entities is manifested in obtaining maximum results from each unit of resource spent or achieving a given effect using a minimum amount of resource inputs.

An important element that reveals the essence of the concept of «efficiency» is the consideration of its types, due to the multifaceted nature of

this economic category. It should be taken into account that each type of efficiency corresponds to its own system of indicators.

The following types of efficiency are distinguished:

- economic, reflecting the efficiency of production with the help of such indicators as unit cost of production, the level of profitability;
- technological, representing the rational use of resources in the production process (material, land, labor), for the assessment of which such indicators as labor intensity, fund capacity, return of the fund are used;
- social, reflecting the satisfaction of the needs of the population for quality products, working conditions and determined on the basis of production per capita, the level of employment of the population;
- environmental, which takes into account the impact of production on the environment and is considered in terms of preserving natural resources and improving the environmental friendliness of production.

It is important to note that many economists reasonably note the interrelation of economic and social efficiency. Economic efficiency of production is the basis of well-being of the population, determines the level of satisfaction of human needs for food, clothing, housing and directly affects the indicators of reproduction of the labor force. In turn, a high level of economic efficiency of production determines social conditions. In this connection social and economic efficiency is a direct consequence of production and economic efficiency.

An important link is the consideration of environmental and economic efficiency, which connects the economic feasibility of agricultural production with its environmental safety. The criterion of ecological and economic efficiency is the production of environmentally friendly products while preserving soil fertility and reproduction of the environment.

Also allocated innovative (causes an increase in production in connection with the introduction of innovation) and investment efficiency (reflects the growth of production due to investment).

The efficiency of agricultural production is influenced by many factors that can be divided into various groups. Their most common classification distinguishes the following: natural conditions, material and labor resources, as well as organizational and managerial factors.

Among the factors affecting the efficiency of production, a special place belongs to the costs of biological origin, namely the cost of feed, bedding and other materials. In this regard, efficiency depends to a large extent on the quality, compliance with consumption rates and the cost of these biological inputs.

In addition, taking into account the possibilities of management, we can distinguish three groups of factors: regulated, difficult to regulate and

unregulated. At that, the division of all factors into macroeconomic and microeconomic, or external and internal, is more common.

The list of key factors, stimulating and restraining the effective development of production, can vary in relation to a particular branch of agriculture, which is primarily due to the industry specifics of production activities.

Meat cattle breeding, as it is known, is a sector of livestock breeding for the production of high-quality beef and is based on the breeding of specialized breeds of beef cattle. Generalization of the best world practices showed that the division of labor and intensification of dairy cattle breeding necessitated the development of specialized beef cattle breeding.

The development of domestic beef cattle breeding is one of the promising strategic directions to increase the production of high-quality beef. The optimal combination of intensive dairy cattle breeding and developed specialized beef cattle breeding is necessary to ensure the production of the required volume of high quality beef.<sup>11</sup> In this case, the need to form an independent branch of specialized beef cattle breeding was noted by scientists in the 1970s.

There are a number of peculiarities of beef cattle breeding:

- beef cattle breeds have greater endurance and are well adapted to natural and climatic conditions due to their developed hair cover, which allows them to be kept in light-weight buildings or sheds with three walls;
- meat from beef cattle breeds surpasses meat from dairy cattle breeds in biological value and taste qualities;
- beef cattle are more precocious and combine high growth energy with good feed conversion.

The specifics of beef cattle breeding is also the fact that the only product of the industry is a calf, which requires breeding cows for two years and only after three or four years of the cow's life it is possible to make a profit from selling young cattle. This circumstance stipulates the necessity of obtaining a calf from each cow every year, because the costs of keeping cows are written off to the cost of young growth.

In contrast to pig and poultry breeding, cattle breeding uses mainly locally produced forage: hay, silage, green mass of grasses and others. As a consequence, natural conditions in beef cattle breeding determine the territorial division of labor to a greater extent than in other branches of livestock breeding. The competitiveness of cattle meat produced directly depends on the composition, quality and cost of feed resources. In this connection, the development of beef cattle breeding should focus on areas with sufficient areas of natural forage lands and stable production of forage and grain forage crops.

---

<sup>11</sup> Australian Bureau of Statistics. <http://www.abs.gov.au>

The economic factors that have the greatest influence on the process of production location also include the availability of resources, namely, the availability of the necessary material and technical base, qualified personnel and labor force. Of particular importance is the importance of staffing of the agricultural sector in solving the problem of improving the efficiency and competitiveness of agricultural production. In particular, highly qualified specialists are required to provide scientifically sound conditions for the maintenance and care of livestock, prevention and treatment of animal diseases, management of production activities.

A significant role in the placement and development of beef cattle breeding is played by the level of state support. So, the state by means of various economic methods, namely preferential crediting, development and realization of target programs, regulation of prices and other, can render stimulating influence on production of certain kinds of agricultural production with the best conditions for it. At the same time, state support may also be required to preserve agricultural production in areas with unfavorable natural and climatic conditions in order to use all the territories.

The effective use of the natural potential of a particular area or subject of the country is possible only in conjunction with economic, organizational and economic, technical and technological, social and other conditions. The example of the United States shows that the most active development is characteristic of those agro-economic regions of the country, in which high bioclimatic potential is organically combined with organizational, economic and innovative advantages.

In the effective development of beef cattle breeding the fundamental principle should be the principle of maximum approximation of cattle meat production to areas with the best natural and climatic conditions for grazing and fattening of beef cattle breeds, as well as sufficient areas of forage land. An important circumstance in this case is to ensure the sale of products on favorable conditions for agricultural producers.

Under effective development of meat cattle breeding we understand transition to a qualitatively new level of the organization of manufacture caused by activation of investment investments into branch and growth of innovative activity of managing subjects, promoting increase in volumes of manufacture of cattle meat, increase of security of the population with high-quality beef and growth of a standard of living of rural inhabitants<sup>12</sup>.

In addition, it should be noted the importance of intensification of production as a key condition of its efficiency due to the reduction of the possibility of growth of production by extensive way. Intensification implies an increase in the useful effect from a unit of used resource and is manifested

---

<sup>12</sup> Argentina: Livestock and Products Annual. USDA Foreign Agricultural Service. September 15, 2017.



in the increase in labor productivity, capital and material productivity, which is carried out by improving the equipment used, implementation of advanced technologies and innovations in the production process, development of breeding and breeding activities.

The analysis and generalization of scientific works of scientists-economists allow us to allocate the following basic conditions necessary for effective development of beef cattle breeding from the point of view of an economic entity:

- selection of a suitable beef cattle breed, corresponding to natural and climatic conditions and the method of maintenance;
- achievement of the necessary level of herd reproduction and milk yield of cows, which is of particular importance when raising calves at suckling;
- rational placement of production, determining the possibility of pasture-based system of keeping beef cattle, availability of own fodder base and solvent demand for beef;
- ensuring balanced feeding of animals;
- creation of necessary conditions for the maintenance and care of livestock;
- availability of qualified specialists;
- availability of favorable economic conditions, in particular, state support, available credit resources and other conditions.

A key role is played by mutually beneficial cooperation between agricultural producers, meat processing plants and retail chains, which ensures fair income distribution. It should also be noted the importance of veterinary measures, continuous control over the health of cattle, timely detection of emerging problems, which will generally reduce the risk of reducing its productivity and mortality.<sup>13</sup>

When analyzing the economic efficiency of beef cattle production, an important condition is the correct measurement of this category, the definition of criteria and indicators for its evaluation. In this case the dominant point of view is the one according to which the generalizing indicator and private indicators, which can be natural (production volume) and cost indicators (profit volume), are used for the assessment of economic efficiency. Profit, as it is known, is determined on the basis of three key parameters, namely the cost of production, the volume of products produced and the price level for it. Various methods are used to determine the influence of each factor, in particular, the method of absolute or relative differences, chain substitution. The important thing is to carry out the factor analysis of profit.

To assess the possibilities of expanded reproduction and comparability of the results of activities of economic entities different in scale, it is more

---

<sup>13</sup> Супрун І., Рубан С. Стан розвитку м'ясного скотарства в Україні. Болгарський журнал сільськогосподарської науки. 2016. Вип. 22, № 1. С. 140-142.

appropriate to calculate not only profit, but also relative indicators, the key of which is the level of profitability, reflecting the ratio of profits and costs.

One of the main indicators characterizing the productivity of young cattle is the average daily gain of its live weight, the increase of which reflects an increase in the volume of meat produced and the reduction of costs per 1 cwt of growth, other things being equal. The efficiency of the use of human resources is evaluated on the basis of labor productivity, in particular, the direct cost of labor per 1 cwt gain of live weight of livestock or per 1 head of cattle. In addition, to determine the efficiency of fixed assets calculates the productivity and fund-intensity.

The economic efficiency of beef cattle production is largely determined by the efficient use of feed resources. To achieve higher cattle productivity and optimize the cost of feed resources, continuous work is carried out to improve feed production technologies, to enrich them with nutrients and to ensure balanced rations of macro- and microelements. In this regard, it is necessary to control the ratio of cattle productivity and actual feed consumption in beef cattle breeding. For this purpose, feed consumption per 1 cwt of live weight gain and per 1 head of cattle is calculated.

## **CONCLUSIONS**

The economic result, as a rule, is estimated through the volume of profit per 1 head of beef cattle or per 1 cwt of live weight sold; profitability of production, reflecting the ratio of profit to total costs; profitability of sales, determined by the ratio of profit to revenue. Also calculated costs per 1 head of beef cattle, the cost of 1 cwt of live weight gain of cattle and the cost of selling 1 cwt of live weight of cattle <sup>14</sup>.

Thus, the development of domestic beef cattle breeding is a strategic reserve for increasing domestic cattle meat production and improving the level of food security of the country. Among key factors having stimulating influence on development of meat cattle breeding it is necessary to note realization by authorities of a policy of import substitution in agrarian sector of the country, granting of measures of the state support for the managing subjects carrying out production of production of meat cattle breeding, presence of markets with favourable conditions for agricultural commodity producers of sales of the produced meat of cattle. Thus the basic factors constraining effective development of meat cattle breeding in the country, belong the long period of payback of the investments enclosed in production of production of this branch; less favorable natural and climatic conditions concerning the largest countries-manufacturers of beef; advanced growth of full cost price concerning selling prices on produced meat of cattle; low level

---

<sup>14</sup> United States Department of Agriculture (USDA). National Agricultural Statistics Service.

of solvency of the population; absence at agricultural commodity producers of means for conducting expanded.

## **SUMMARY**

The analysis of the state of development of beef cattle breeding in Ukraine was carried out. Ukraine mainly uses up to 15 breeds of cattle for meat production. It has been established that the largest breeding stock of beef cattle is concentrated in the north and west of the country.

It has been established that mainly beef cattle are bred in the Volyn and Chernihiv regions. Currently, 52 breeding farms are registered in Ukraine. The main imported breed in terms of numbers is the Aberdeen Angus. Of the domestic breeds, mainly specialized Volyn and Polissya meat breeds of cattle are bred. The main provisions of the beef cattle breeding industry in other countries are also given.

## **Bibliography**

1. Генетика, селекція та біотехнологія у скотарстві. Київ, 1997, 772 с.
2. Дзіцюк В. В. Сучасний стан і перспективи розвитку м'ясного скотарства в Україні. <http://agroua.net/animals/catalog>
3. Каталог бугаїв м'ясних порід та типи племінних підприємств в Україні для відтворення племінного поголів'я в 2015. Київ, 2015, 53 с.
4. Лаврук А., Лаврук В. Проблемы возрождения и развития отрасли животноводства в Украине. *Przegląd wschodnioeuropejski* X/1 2019: 201–213 (in Russian)
5. Селекційно-генетичні та біологічні особливості породи абердин-ангус в Україні. Київ, 2002, 203 с.
6. Програма розведення волинської м'ясної породи на 2002-2010 роки. Київ, 2003, 80 с.
7. Програма розведення української м'ясної породи на 2002-2010 роки. Київ, 2003, 42 с.
8. Супрун І. О., Гетья А. А., Рубан С. Перспективи використання генетичних ресурсів м'ясної худоби в Україні. *Вісник серії СНАУ Тваринництво*. 2015. Вип. 23, № 28. С. 42-49.
9. Угнівенко А. М. Українська м'ясна порода. Київ 1994, 78 с.
10. Statistics Canada: Canada's national statistical agency.
11. Kahn, L. Cottle D. *Beef Cattle Production and Trade*. Csiro Publishing, 2014, 584.
12. Australian Bureau of Statistics. <http://www.abs.gov.au>.
13. Argentina: *Livestock and Products Annual*. USDA Foreign Agricultural Service. September 15, 2017.

14. Супрун І., Рубан С. Стан розвитку м'ясного скотарства в Україні. Болгарський журнал сільськогосподарської науки. 2016. Вип. 22, № 1. С. 140-142.

15. United States Department of Agriculture (USDA). National Agricultural Statistics Service.

**Information about the authors:**

**Mylostyva Daria Fedorivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Senior Researcher at the Pathomorphology Department  
State Institution «Institute of Gastroenterology of the National Academy  
of Medical Sciences of Ukraine»  
96, Slobozhanskyi ave., Dnipro, 49074, Ukraine

**Farafonov Svatoslav Zhanovych,**

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,  
Head of the Department of Agriculture and Agrochemistry  
Volyn State Agricultural Research Station of Institute of potato growing  
of the National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine  
2, Schilny str., Rokyni, Volyn region, 45626, Ukraine

**Ryvak Rostyslav Orestovych,**

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher,  
Head of the Sample Registration and Document Processing Sector  
State Research Control Institute of veterinary medicinal products  
and feed additives  
11, Donetska str., Lviv, 79019, Ukraine

## THE INFLUENCE OF THE TYPE OF FEEDING ON MEAT PRODUCTIVITY OF YOUNG CATTLE AND MEAT QUALITY

Razanova O. P., Farionik T. V., Skoromna O. I.

### INTRODUCTION

Cattle breeding as part of the agro-industrial complex occupies a leading place in the developed countries of the world. The level of development of this industry is decisive in ensuring the food independence of the country. Growing demand for livestock products has caused significant changes in food systems around the world. One of the important strategic tasks of the development of the domestic agro-industrial complex is the development of meat and dairy-meat cattle breeding, the purpose of which is to increase meat production to provide the population of Ukraine with high-quality meat products of own production and the production of high-quality food raw materials. Such meat has a significant demand on the meat market and increases the competitiveness of this type of product on the world market. In recent years, the demand for beef has been insufficiently met, and often its quality does not meet the demands of consumers. Beef is one of the most important types of meat raw materials in animal husbandry. It belongs to the red varieties of meat and has the most attractive nutritional and taste qualities. In Ukraine, the number of beef cattle is small, so beef is obtained at the expense of dairy cattle, mainly culled heifers, steers and culled cows. In Ukraine, most livestock enterprises specialize in the development of the dairy industry. Therefore, it is currently impossible to increase beef production exclusively due to the intensive development of beef cattle in the direction of productivity.

More than 95% of beef in the country is obtained from dairy and combined cattle. In the farms of our country, among the dairy breeds of cattle, the Ukrainian black and spotted dairy breed is the most concentrated.<sup>1</sup> The fattening young have good meat indicators and at the age of 12 months reach a live weight of 380-400 kg, at the age of 18 months – 500-520 kg.

The meat market is an important component of the country's food market, the standard of living of the population and ensuring the country's food security largely depend on the stability of its functioning. Meat and meat products are among the most important food products. Meat production is one of the main issues in solving food security, providing the country's population

---

<sup>1</sup> Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Purwin C., Modzelewska-Kapituła M. Effects of rearing system and feeding intensity on the fattening performance and slaughter value of young crossbred bulls. *Annals of Animal Science*. 2018. Vol. 18. P. 835–847.

with complete dietary protein. Indicators of consumption of livestock products per capita are one of the main indicators characterizing the well-being of the nation<sup>2</sup>.

Solving this problem is possible through the breeding of dairy and mixed breeds of livestock, the development and implementation of a set of measures capable of more fully realizing the genetic potential of meat productivity of animals. In this regard, the increase in the productivity of animals is realized on the basis of improving the conditions of keeping, feeding, raising the level of breeding work. In the complex of measures aimed at increasing the meat productivity of young cattle, a special place is given to the quality of feeding, which is achieved by high quality feed, sufficient quantity and optimal ratio of feed components in diets, as well as the use of various biologically active substances and feed additives.

### **1. The problem's prerequisites emergence and the problem's formulation**

The productivity of fattening young cattle is most influenced by balanced feeding, which is based on the needs of animals in various types of nutrients, vitamins, and mineral elements.

The basis of successful breeding of cattle is the fodder base, which uses scientifically based feeding, which ensures maximum productivity of animals with low costs of labor and resources. Farms engaged in breeding and growing cattle for meat are mostly not provided with a stable feed base that would meet the needs of animals in nutrients such as feed protein, phosphorus, carotene, trace elements, vitamins and enzymes. For the production of beef with a minimum fat content, which is necessary to obtain meat with a small marbling, it is necessary to intensively grow calves until they reach the desired live weight at the age of 15-17 months, steers – at the age of 18-22 months. Animals of different sexes and age groups are fattened, depending on size and type, in such a way as to make the most of their growth characteristics and achieve the best combination of live mass with the desired carcass composition<sup>3</sup>.

During intensive breeding and fattening, when average daily gains exceed 1000 g, the type of feed can only be concentrated (from 56 to 77% or more), for this the concentration of exchangeable energy in 1 kg of dry matter should be 10-12 MJ, because the animal does not able to eat more food with a lower concentration of exchangeable energy. It is possible to use different rations for growing and fattening young animals, but the higher the average daily

---

<sup>2</sup> Сегеда С.А. Статистичний аналіз споживання м'яса та м'ясопродуктів в Україні. *Міжнародний науково-виробничий Журнал «Економіка АПК»*. 2020. № 3 С. 36–46.

<sup>3</sup> Кандиба В.М., Ібатуллін І.І., Костенко В.І. Теорія і практика нормованої годівлі великої рогатої худоби : монографія. 2012. 860 с.

growth is planned, the higher the concentration of exchangeable energy and the quality of feed or the greater the proportion of concentrates in the ration. The amount of concentrates given to animals should be increased daily by no more than 150-230 g per head to prevent overfeeding.

Depending on the composition, feed additives are divided into protein, protein-vitamin and protein-vitamin-mineral supplements. Premixes include biologically active substances: vitamins, trace elements, antibiotics, antioxidants, enzymes and others. The use of feed additives in the rations of animals helps to increase productivity. At the same time, in animals, there is an increase in the conversion of feed nutrients into meat products<sup>4</sup>.

When balancing rations, one should always remember the effect of the law of the minimum in the body, that is, the physiological feature of animals – the body works on the minimum intake of nutrients with feed.

According to this feature, the body can have everything, but if there is not enough, for example, protein or some essential amino acid, then when using vitamins, trace elements or other biologically active substances, it will be impossible to increase productivity. It has been established that animals with genetically determined high productivity are at greater risk, and thus for them the level of feeding and the balance of the diet is more important. As a result of experimental studies, a positive effect on feed intake and digestibility, an increase in the intensity of use of nitrogen, phosphorus and calcium when introducing special mineral additives into the diet of livestock, including young animals, was established. Research by many scientists has proven that by adjusting the composition of diets, it is possible to significantly change the intensity of animal body development, the activity of certain organs and tissues, and, as a result, the animal's exterior.

The technological cycle of growing over-repaired young animals, which consists of the dairy post-milking period and the fattening period, has its own peculiarities in feeding and keeping animals. The division of the technological cycle into a dairy period and a period of intensive breeding of steers from 6 months of age to slaughter requires the maximum use of the genetic potential of animals, feed, energy and resources due to the optimization of a complex of technological elements. The second direction is to increase the level of transformation of the energy of the technological process into the energy of weight gain of steers with the maximum positive influence of the breed factor, the factors of the level of feeding and the type of rations using new methods of increasing the consumption of dry matter of feed by animals.

---

<sup>4</sup> Orikhivskiy T. V., Fedorovych V. V., Mazur N. P., Pirlog A. Dynamics of early growth of heifers of simmental breeds of different production types. *Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology*. 2019. Vol. 20. № 2. P. 366-374.

The third direction can be called the optimization of animal keeping parameters and the microclimate of premises to reduce energy consumption and increase the level of productive use of feed. The problem of increasing the rate of beef production is quite important in solving the tasks of the country's agro-industrial complex aimed at ensuring food security. In animal husbandry, in the direction of increasing the meat productivity of livestock, considerable attention is paid to the organization of complete, balanced feeding in terms of all nutrients. The full value of feeding animals is achieved by a sufficient level of feeding, improving the quality of feed, the most favorable ratio in the diet of the main components. Enriching rations and compound feeds with special additives of biologically active substances is important in achieving a high level of biological completeness of animal feeding. For this purpose, various feed additives are used, which increase metabolism, stimulating the body to produce more products and reduce feed costs per unit of production<sup>5, 6, 7</sup>. They are introduced in small quantities, but contribute to the intensification of metabolic processes, stimulation of the functional reserves of the animal body, and the formation of immunity, which ultimately has a positive effect on the level of productivity. The use of premixes in the fattening of steers, in particular protein-vitamin-microelement premixes, promotes more intensive growth of animals, improves meat productivity and meat quality<sup>8</sup>, reduces feed costs and, accordingly, increases the profitability of cultivation<sup>9, 10, 11</sup>. Mineral substances, in particular, microelements, have a special place in complete feeding of animals<sup>12</sup>.

---

<sup>5</sup> Гончарук А. П. БВМД «Інтермікс» у раціонах відгодівельних свиней. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. 2016. Вип. 18. № 67. С. 52–57.

<sup>6</sup> Razonova O. P. Increasing meat quality quails fed by biological active additives based on submerged bees. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8. № 1. P. 631-636.

<sup>7</sup> Poberezhets J., Chudak R., Kupchuk I., Yaropud V., Rutkevych V. Effect of probiotic supplement on nutrient digestibility and production traits on broiler chicken. *Agraarteadus*. 2021. Vol. 32 (2). P. 7.

<sup>8</sup> Girard I., Aalhus J., Basarab L., Larsen I. L., Bruce H.L. Modification of beef quality through steer age at slaughter, breed cross and growth promotants. *Canadian Journal of Animal Science*. 2012. Vol. 92. P. 75–188.

<sup>9</sup> Niedermayer E. K., Genter-Schroeder O. N., Loy D.D., Hansen S. L. Effect of varying trace mineral supplementation of steers with or without hormone implants on growth and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*. 2018. Vol. 3. № 96. P. 1159-1170

<sup>10</sup> Мазуренко М. О., Гуцол А. В., Єфимчук С. М. Вплив годування БВМД Інтермікс на продуктивність телят. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. 2015. Т. 17. № 61. С. 109-113.

<sup>11</sup> Денькович Б.С., Півторак Ю.І., Гордійчук Н. М. Вирощування племінних теличок за використання концентрату «Інтермікс-теля 30%». *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2017. Вип. 19. № 74. С. 147-151.

<sup>12</sup> Kincaid R. L. Assessment of trace mineral status of ruminants: a review. *Journal of Animal Science*. 1999. Vol. 77. № 1. P. 1–10.



According Feduchka et al.<sup>13</sup> at the basis of rational feeding of young cattle, great importance is attached to mineral feeding, and they determine the effectiveness of the use of vitamin-mineral and protein-vitamin-mineral supplements in the rations of calves. It should be noted that the consumption of different sources of microelements led to different effects on the slaughter parameters on the qualitative composition of the carcasses of Cattle sheep. Tsup et al.<sup>14</sup> recomendet use a phytopremix based on purple echinacea to increase the intensity of their growth by 16% against the background of reducing feed costs by 5.1%, improving indicators of non-specific resistance when growing calves.

Studying only growth indicators cannot sufficiently characterize the features of animal development, and does not provide a complete picture of meat productivity and meat quality. More accurate and objective data can be obtained only after slaughtering the animals. Slaughter indicators of animals provide a more complete description of the quality and quantity of meat compared to lifetime indicators of live weight and average daily gains. Quantitative and qualitative parameters of carcasses were evaluated to characterize the meat productivity of cattle. Quantitative indicators of meat productivity of livestock are pre-slaughter weight, slaughter weight, paired carcass weight, internal fat mass, carcass yield, fat yield and slaughter yield.

The main indicators of the meat qualities of animals are the mass of the carcass and its morphological composition. Senichenko<sup>15</sup> experimentally proved that it is economically beneficial to use the vitamin-mineral supplement «Zhyvyna» with a mineral complex in the feeding of calves of the Ukrainian black and spotted dairy breed. A 1.7% higher carcass yield was obtained when the supplement was fed. Prilipko & Zakharchuk<sup>16</sup> it was found that the use of E-selenium and Devivit additives in the diets of Simmental bulls against the background of balanced feeding increases the average daily gain of live weight, as well as slaughter weight – by 3.2-4.5%.

The transfer of animal husbandry to an intensive technology involves the development of new forms and methods of growing and fattening, which ensure an increase in animal productivity, an improvement in the quality of products while reducing the cost of labor and resources. The system of intensive breeding

---

<sup>13</sup>Федючка М., Молярчук П., Світельський М., Ревунець А. Вплив мінеральних добавок на ріст і розвиток молодняку ВРХ. *Тваринництво України*. 2010. № 11. С. 32–34.

<sup>14</sup>Цуп В.І., Тихонова Б.Є., Федорович В.С. Використання ехінацеї пурпурової у складі мінерально-вітамінного преміксу при вирощуванні телят. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гіжцького*. 2015. Вип. 17. № 3. С. 337-342.

<sup>15</sup>Сеніченко В.Ю. Економічна ефективність використання «Живини» у годівлі телят. *Органічне виробництво і продовольча безпека*. Житомир, 2018. С. 558–561.

<sup>16</sup>Прилипко Т.М., Захарчук, П.Б. Показники продуктів забою бичків залежно від селеновісних добавок у раціоні. *Біоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11. № 1-2. С. 146-155.

of young cattle for meat should be based on knowledge of the processes of formation of meat productivity, patterns of growth and development of animals, which has great practical value. In the feeding of young cattle when grown for meat, the most important period is the milk period.

Growing and feeding conditions in the initial period of life play a special role<sup>17</sup>. Taking into account the perspective and relevance of the use of microelements in raising bulls at an early stage of ontogenesis, taking into account the insufficient study of the problem, there was a need to conduct this study.

The body of calves during the period of active growth and development needs a significant amount of mineral elements. The use of feed additives in livestock rations makes it possible to improve the digestibility of nutrients in the diet, which, in turn, contributes to the strengthening of protein, carbohydrate, and lipid metabolism, increasing the production of meat products by increasing its quantity. Mineral and vitamin nutrition is one of the main factors in raising animals. Young animals are especially sensitive to the lack of minerals and vitamins during the milk growing period. With long-term and insufficient intake of them in the body, metabolic processes are disturbed, various diseases occur, animal growth is restrained and the costs of cultivation increase. Therefore, it is necessary to feed full-fledged vitamin and mineral supplements to calves, which ensure the normal course of biochemical processes in the body<sup>18</sup>.

A number of scientists believe that the importance of minerals (calcium, phosphorus, potassium, sodium, iron, copper, cobalt, zinc, manganese, iodine, selenium) in the feed of farm animals is extremely high, although they have no energy value<sup>19</sup>. In feeding cattle as a source of minerals, compound feed with the addition of natural mineral additives is used, which ensures an increase in the intensity of growth and development and improvement of quality indicators of meat<sup>20, 21</sup>. In today's conditions, scientific research is focused on the fuller implementation of the physiological features of the

---

<sup>17</sup> Даньків В.Я., Постол О.І., Зінкевич В.І., Венгрін Я.Д. Вплив згодовування білково-жиро-мінеральної добавки телятам у молочний період на гематологічні показники та активність ферментів в крові. *Сільський господар*. 2012. № 9-10. С. 22-24.

<sup>18</sup> Довгій Ю.Ю., Котелевич В.А., Сеніченко В.Ю. Вплив вітамінно- мінеральних комплексів на морфологічні і біохімічні показники крові телят. *Збірник наукових праць*. Болгарія, Софія. 2019. С. 22–29.

<sup>19</sup> Glombowsky P., da Silva A.S., Soldá N.M. Mineralization in newborn calves contributes to health, improve the antioxidant system and reduces bacterial infections. *Microbial Pathogenesis*. 2018. Vol. 114. P. 344-349.

<sup>20</sup> Фурманець Ю.С. М'ясна продуктивність бичків абердин-ангуської породи при згодовуванні у складі комбікормів цеолітових туфів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького*. 2010. Т. 12. № 2 (44). Ч. 3. С. 250-2 54.

<sup>21</sup> Gorlov I. F., Trukhachev V. I., Randelin A. V., Slozhenkina M. I., Shlykov S. N. Forming the quality indicators to beef by feed additives «Yoddar-Zn» and «Glimalask-Vet». *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*., 2016. Vol. 7. № 3. P. 2323.

animal body, increasing their productive indicators, nutritional and veterinary-sanitary quality of products<sup>22</sup>.

Studies on the use of micro-additives of deficient trace elements (J-, Se<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) in the form of inorganic salts or their methionates of trace elements, in the form of chelated compounds (methionates and lysinates) in the diets of fattening cattle confirm their positive effect on erythropoiesis, respiratory blood function, separate areas of protein, energy and carbohydrate metabolism in the body of young cattle. The addition of such additives to the diet improves the energy and biological value of the diets, which, in turn, contributes to the increase in the intensity of growth of calves while simultaneously reducing the total cost of feed for growth.

## **2. The influence of the concentrated type of feed and salts of microelements on the production of beef from young cattle of different breeds**

The improvement of the above elements of beef production technology in dairy farming in the context of its theoretical justification has an insufficient degree of development, which determines the relevance of the chosen research topic.

Providing the country's population with food products, including meat, is the most important task of the agro-industrial complex of Ukraine.

Currently, more and more attention is paid to solving issues related to increasing beef production.

The purpose of the research was to study the influence of the concentrated type of feed and salts of trace elements on the production of beef from young cattle of different breeds.

The first two months of raising bulls determine the course of growth until the animals reach maturity. The first weeks of life are crucial in the development of internal organs. In the first six months, meat-producing animals have maximum growth energy. A biological feature of a young organism is its plasticity, which allows you to change and develop useful traits in any direction through the purposeful influence of food factors on them. Also, a feature of young animals is their ability to give high growth rates with relatively economical energy consumption. In connection with the intensive metabolic processes in the body of calves and the rapid growth of bone tissue, they must be provided with complete feed containing a sufficient amount of protein, minerals and vitamins. Any, even temporary, lack of nutrients negatively affects the growth and development of animals.

---

<sup>22</sup>Яремчук О. С., Фаріонік Т. В., Разанова О. П., Скоромна О. І., Ушаков В. М. Наукові підходи обґрунтування щодо використання мікроелементних хелатних сполук за виробництва яловичини в умовах дефіциту мікроелементів : монографія. Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 196 с.

According to most scientists, the level of feeding should contribute to the cultivation of animals of the desired type and strong constitution. Obtaining such animals is possible with a sufficient level of feeding, which ensures an average daily increase in live weight of 900-950 g for dairy and meat breeds and 900-1200 g for meat breeds. Thus, by the age of 18 months, the young grown, with the indicated daily gains, reach a live weight of 450 and 650 kg<sup>23</sup>.

The function of minerals in the body of animals is quite large, and along with specific functions, minerals play an important role in maintaining osmotic pressure, nerve and muscle excitation, regulation of catalytic processes, and manifestation of the body's immunobiological reactivity.

The lack of minerals in the diet negatively affects the degree of mineralization of the skeleton, the health and life expectancy of animals, reproductive functions. According to the standards, with an average daily gain of 500 and 750 g, the need for calcium and phosphorus for calves should be 9.6 and 14 g, 6.2 and 9.0 g per head per day, respectively. Iron norms per 1 kg of live weight are 3.6 mg, copper – 0.2, magnesium – 10, zinc 0.8-1.0, potassium – 60-100, sodium – 32, chlorine – 36, manganese – 0.7, cobalt – 1.8 and selenium – 9 mg [3, 21].

When raising calves in the post-weaning period, it is necessary to take into account that this period coincides with the intensive growth of muscle and bone tissues, internal organs<sup>24, 25</sup>. Therefore, animal feeding plays the most important role, its organization should be based on modern ideas about the energy needs of animals and individual elements of feeding. It is necessary to adhere to the principle of standardized feeding of animals, taking into account the latest achievements of science. Only such an approach guarantees high productivity and effective cattle breeding.

In Ukraine, one of the farms engaged in fattening cattle of specialized meat breeds is the company «Livestock4Export». During the milking period, fattening young animals are given whole milk substitute (Table 1).

Whole milk substitute is made from dairy products with the addition of vegetable proteins and fats, enriched with a balanced complex of biologically active substances (vitamins, macro- and microelements), flavoring and aromatic substances that increase the appetite of animals. In the composition of whole milk substitute, 95% are dairy products. By nutrition, 20% is protein,

---

<sup>23</sup>Міхур Н.І. М'ясна продуктивність відгодівельних бугайців та якісні показники яловичини за різної структури раціонів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гіжцького*. 2015. Т. 17. № 1(61). С. 128-134.

<sup>24</sup>Крук О. М'ясність телят української чорно-рябої молочної породи різного віку. *Тваринництво України*. 2015. № 5. С. 26-30.

<sup>25</sup>Moriel P., Arthington J. D. Effects of trace mineral-fortified, limit-fed preweaning supplements on performance of pre- and postweaned beef calves. *Journal of Animal Science*. 2013. Vol. 91. P. 1371-80.

15% fat, 47% lactose. The substitute is rich in the necessary mineral elements of calcium and phosphorus, which are 0.7 and 0.6% in this product, respectively.

Table 1

**The composition of whole milk substitute for calves during the dairy growing period**

<b>Constituents</b>	<b>Indicator, %</b>
Dairy products	95
White	20
Fat	15
Humidity	5
Cellulose	0.05
Ash	8.5
Lactose	47
Ca	0.7
P	0.6
Lysine	1.5

For feeding calves, take 100 g of whole milk substitute and dilute it in 1 liter of warm water at a temperature of 40 °C. Every day, 6 liters of milk substitute are drunk per head, 2 liters three times. Also, calves that are on drinking water are given combined feed from corn to stimulate the work of the rumen. Calves are kept on drinking water until they reach a live weight of 85-90 kg, while they should eat already 2 kg of concentrated feed per day. In the future, the animals are fed with a special compound feed, which in the diet contains 90% nutrition and straw – within 10%. Drinking and feeding animals at will. The recipe for compound feed used for feeding cattle on the farm is shown in Table 2.

Salts of microelements of iron, manganese, zinc, copper, iodine, selenium and cobalt are added to the components of compound feed. The nutritional value of compound feed in terms of exchangeable energy is 11.41 mJ/kg, crude protein is 14.78%. The ratio of calcium to phosphorus in the diet for over-repaired young is 1:1,4.

The problem of increasing the production of high-quality beef in the agricultural sector of our country is one of the most priority, which must be solved using the available genetic resources. Among the factors affecting meat productivity and fattening efficiency, the quality of the ration is important. Cattle of many specialized meat breeds, in comparison with dairy ones, are fattened faster, give a higher slaughter yield and better quality meat<sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> Muller A., Burren A., Jorg H. Identifying ideal beef and dairy crossbreeds to optimise slaughter yields. *Agrarforschung schweiz*. 2015. Vol. 6. № 1. P. 28-35.

Table 2

**A recipe for compound feed and its nutrition  
for calves aged 4-10 months**

Constituents		Indicator, kg/t	
Premix		20.00	
Sunflower meal		70.00	
Soybean cake		35.00	
Wheat		190.00	
Alcohol bard		150.00	
Corn		270.00	
Barley		150.00	
Sunflower oil		5.00	
Bran		110.00	
Supplements have been introduced 1 kg			
Vit. A, s. MO	7.00	Vit. Д <sub>3</sub> , s. MO	1.80
Vit. E, mg	10.00	Vit. K <sub>3</sub> , mg	1.00
Vit. B <sub>1</sub> , mg	1.00	Vit. B <sub>2</sub> , mg	3.00
Vit. B <sub>3</sub> , mg	3.00	Vit. B <sub>6</sub> , mg	1.00
Vit. B <sub>5</sub> , mg	12.50	Vit. H <sub>c</sub> ( B9), mg	0.50
Vit. ( B <sub>7</sub> ), mg	0.02	Vit. B <sub>12</sub> , mg	0.02
Salts of trace elements			
Iron, mg	20.00	Manganese, mg	30.00
Zinc, mg	60.00	Copper, mg	8.00
Iodine, mg	0.50	Selenium, mg	0.20
Cobalt, mg	0.50		
The nutritional value of compound feed			
Exchange energy, MJ/kg	11.41	Crude fiber, %	6.35
Raw protein, %	14.78	Raw fat, %	3.36
Raw ash, %	5.35	Lysine, %	0.48
Methionine + cystine, %	0.59	Calcium, %	0.71
Phosphorus, %	0.48	Kitchen salt, %	0.65

In this regard, studies were conducted to study the influence of the type of feeding on the meat productivity of fattening young cattle in farm conditions «Livestock4Export». In the studies, generally accepted zootechnical methods were used: determination of live weight, average daily, and absolute growth. Live weight gains of steers were calculated using control weighings.

Weight growth was taken into account when the bulls arrived at the farm and at the end of the fattening period.

Weighing of experimental livestock was carried out before morning feeding and feeding Based on the weighing data, the following average daily, absolute and relative live weight gain were calculated.

Absolute and average daily gains in live weight according to the formulas:  
average daily gain:

$$C_{np} = \frac{M_2 - M_1}{t} (z),$$

where:  $M_1$  – mass at the beginning of the period;  
 $M_2$  – mass at the end of the period;  
 $t$  – number of days between weighings.

Absolute growth:

$$A_{np} = M_2 - M_1 (\kappa z)$$

The coefficient of increase in live weight was determined by the ratio of the live weight of steers at the end of fattening to the weight of calves at the time of testing. The feeding conditions of the bulls were determined by generally accepted methods by analyzing the completeness of the average animal feeding rations in different periods. Feeding with concentrated fodder (90%) and straw (10%) was carried out ad libitum throughout the fattening period. Accounting for consumed feed was carried out by the method of control feeding once a month by weighing the given feed and its residues.

The live weight of animals is one of the most important indicators in beef cattle breeding. The intensity of growth and development of farmed animals is influenced by many factors, including breed, physiological state of animals, keeping technology, diet composition<sup>27</sup>. In the conditions of the farm «Livestock4Export» studied the indicators of the intensity of growth of young animals in fattening breeds: Limousin, Simmental, Aberdeen-Angus. The duration of animal fattening was 172 days.

Limousin steers were fattened with an average live weight of 189.8 kg, Simmental – 199.6 kg, and Aberdeen-Angus – 188.5 kg. During the fattening period, the absolute growth of cattle limousines was 246,8 kg, Simmentals – 226.7 and Aberdeen Angus – 259.7 kg. For the obtained increase in live weight for 172 days of fattening, the average daily indicators were 1434 g, 1317 and 1510 g, respectively (table 3).

Aberdeen-Angus were characterized by more intense growth and had the highest average daily gains – 1510 g. The advantage over Limousin breed analogues was 5.3%, Simmentals – 14.6%. The obtained high average daily increases in the live weight of fattening steers at the «Livestock4Export» farm are due to a special feeding technology. The intensity of growth in the fattening young of the Aberdeen-Angus breed was higher by 2.8 and 9.1% compared to the Limousin and Simmental breeds. The post-slaughter meat

---

<sup>27</sup> Скоромна О.І., Гордій А.М., Голембівський С.О., Разанова О.П., Вікарчук Н. Ефективність розведення кросів бельгійської блакитної породи великої рогатої худоби в Україні. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 125. С. 184-193.

productivity of animals is primarily evaluated by slaughter indicators, which are closely related to the live weight of animals. It is known that cattle of any breed can achieve high meat productivity with proper breeding.

Table 3

**Intensity of growth of fattening cattle of meat breeds in farm conditions  
«Livestock4Export»,  $M \pm n$ ,  $n=20$**

Indicator	Breed		
	limousine	simmental	Aberdeen Angus
Live weight at the beginning of fattening, kg	189.8±1.8	199.6±2.9	188.5±1.7
Live weight at the end of fattening, kg	436.6±3.2	426.3±2.7	448.3±1.9
Absolute increase in live weight, kg	246.8±2.90	226.7±1.13	259.7±1.63
Average daily increase, g	1434±16.9	1317±6.5	1510±9.4
Relative growth, %	78.8±0.78	72.5±0.82	81.6±0.61

Meat productivity is characterized by quantitative and qualitative indicators of meat products obtained after slaughtering animals. An objective indicator of meat productivity is the result of slaughter, by which it is possible to judge not only the quantity, but also the quality of the obtained meat products. In order to study the influence of the type of feeding on the meat parameters of test steers, a control slaughter of young calves at the age of 16 months was carried out (five heads from each group).

The main indicators used to evaluate meat productivity were: pre-slaughter live weight, slaughter weight and slaughter yield, carcass morphological composition and the nature of fat deposition. Slaughter rates of Bugai cattle were studied according to the following indicators:

- pre-slaughter live weight, kg
- determined by weighing animals after fasting for 12 hours;
- slaughter weight of the carcass, kg
- weight of the carcass with skin, without head, legs, separated by wrist and hock joints and internal organs;
- slaughter yield, %
- the ratio of the slaughter mass to the pre-slaughter mass, expressed as a percentage.

The morphological composition of the carcasses was determined by the method of deboning after 24-hour exposure in a refrigerating chamber at a temperature of 0-4 °C, followed by the calculation of the meatiness coefficient



<sup>28</sup>. The mass of pulp, bones, tendons and cartilage was determined in the carcasses. To assess the meatiness of animals, the meatiness coefficient was mathematically determined as the ratio of the mass of muscle tissue to the mass of bones, cartilage and tendons, and the muscle-bone ratio, which was calculated by dividing the mass of flesh by the mass of bones. The flesh of the carcass after veining was divided into three grades: higher – pure muscle tissue without visible remains of connective tissue formations, I grade – the presence of no more than 6% of connective tissue formations, II grade – no more than 20% of connective tissue formations, the presence of tendons, films is allowed and small veins.

For the chemical analysis of the meat, an average sample of the longest back muscle was taken.

For the study of post-mortem parameters, fattening young animals of three breeds were selected: Simmental, Aberdeen-Angus and Limousin. Animals of these breeds had the same fattening period – 172 days.

Based on the results of the research, it was found that bulls of the studied breeds were characterized by good slaughter qualities, but animals of the Aberdeen-Angus breed were noticeably distinguished by meat productivity indicators (table 4).

Animals were selected for slaughter based on almost the same pre-slaughter live weight – 430-434.7 kg. But the slaughter yield in the three groups differed depending on the breed. The highest slaughter yield was obtained from bulls of the Aberdeen-Angus breed (60.3%), which is 4.6% more than Limousins, and 5.1% more than Simmentals.

Table 4

**Slaughter rates of bulls depending on the breed, M $\pm$ n, n=5**

Indicator	Breed		
	Aberdeen Angus	limousine	simmental
Pre-slaughter live weight, kg	433.5 $\pm$ 17.39	434.7 $\pm$ 9.53	430.0 $\pm$ 10.35
Slaughter weight, kg	261.5 $\pm$ 10.98	242.1 $\pm$ 6.08	237.3 $\pm$ 7.14
Slaughter output, %	60.3 $\pm$ 0.53	55.7 $\pm$ 0.27	55.2 $\pm$ 0.28
Weight of the steamed carcass, kg	249.2 $\pm$ 16.6	233.4 $\pm$ 6.11	230.1 $\pm$ 6.70
Output of steam carcass, %	57.5 $\pm$ 0.52	54.8 $\pm$ 0.34	53.5 $\pm$ 0.26
Mass of internal crude fat, kg	12.3 $\pm$ 0.49	8.7 $\pm$ 0.41	10.3 $\pm$ 0.35
Output of internal raw fat, %	2.8 $\pm$ 0.17	3.5 $\pm$ 0.18	4.2 $\pm$ 0.06

<sup>28</sup>Шкурин Г.Т., Тимченко О.Г., Вдовиченко Ю.В. Забійні якості великої рогатої худоби: методики досліджень. К. : Аграрна наука, 2002. 50 с.

According to the obtained data on the slaughter yield of Aberdeen Angus, a higher slaughter weight was obtained, namely more by 19.4 kg, or by 7.4% compared to Limousins and by 24.2 kg, or by 9.2% compared to Simmentals. Aberdeen-Angus breed bulls obtained a higher weight of paired carcass (249.2 kg), the advantage compared to Simmental and Limousin breed animals was 19.1 kg (7.7%) and 15.8 kg (6.3%), respectively.

Taking into account the higher indicators of the weight of the paired carcass, Aberdeen Angus obtained a higher yield of paired carcass (57.5%), which is 2.7% and 4.0 more compared to Limousins and Simmentals. The largest output of internal crude fat was obtained at the slaughter of Simmental breed dogs (4.2%), in Aberdeen-Angus and Limousin dogs it is less by 1.4 and 0.7%, respectively.

One of the main objects for evaluating the meat productivity of livestock is the carcass obtained after slaughtering the animal. The nutritional value of meat carcasses is determined, as is known, by the ratio of muscle, fat, connective and bone tissues included in their composition. Muscle tissue is the most valuable part of the carcass, its amount depends on various factors: fatness, age, genetic basis, feeding conditions, etc. The fleshy part of the carcass mainly determines the nutritional and commercial advantages of the meat. In our research, deboning of half-carcasses showed that the soft part of the carcass is the highest in Aberdeen-Angus bulls, their advantage over Limousins was 1.9%, Simmentals – 3.7% (table 5).

Table 5

**Morphological composition of beef cattle carcasses, M±n, n=5**

Indicator	Breed		
	Aberdeen Angus	limousine	simmental
Mass of chilled semi-carcass, kg	122.1±1.83	120.6±3.47	118.9±6.53
Mass of pulp, kg	97.4±1.56	95.6±2.39	93.9±5.69
Pulp yield, %	79.7±1.25	79.3±1.04	79.0 ±0.44
Bone mass, kg	22.1±1.02	22.3±1.08	22.9±1.30
Bone yield, %	18.1±0.58	18.5±0.24	19.3±0.46
Weight of tendons and cartilage, kg	2.6±0.15	2.6±0.09	2.9±0.18
Yield of tendons and cartilage, %	2.2±0.12	2.2±0.03	2.5±0.06
Yield of pulp per 1 kg of bones, kg	4.4±0.05	4.3±0.04	4.1±0.07

The yield of pulp in Aberdeen-Angus carcasses was 79.7%, which is more compared to Limousins by 0.4% and to Simmentals by 0.7%.

The weight of bones in Simmental carcasses is greater compared to Aberdeen Agnus and Limousin by 3.6% and 2.7%, respectively. Relative to half-carcass weight, the yield of bones in Aberdeen Angus and Limousin was the same, and in Simmentals it was higher by 0.3%. The yield of pulp per 1

kg of bones in the carcasses of Aberdeen-Angus cattle was 4.4 kg, which is 0.1 kg and 0.3 kg more compared to the Limousin and Simmental breeds, respectively. The weight of half-carcasses of first-class Aberdeen-Angus bulls was 2.2% higher than that of Limousin, and 7.9% of Simmental (table 6).

Table 6

**Varietal composition of half of the carcasses of cattle of different breeds, M±n, n=5**

Indicator	Breed		
	Aberdeen Angus	limousine	simmental
Half carcass weight, кг	122.1±1.83	120.6±3.47	118.9±6.53
Weight of cuttings by varieties, kg: first class	100.7±2.47	98.5±2.68	93.3±2.48
second grade	13.7±0.26	14.1±0.82	19.6±1.06
third grade	7.7±0.08	8.0±0.14	6.0±0.29
Yield of cuttings by varieties, %: first class	82.5±0.43	81.7±0.97	78.5±0.88
second grade	11.2±0.11	11.7±0.25	16.5±0.27
third grade	6.0±0.13	6.4±0.48	5.0±0.15

The amount of second-grade meat in half-carcasses of Simmental bulls was the largest (19.6 kg), the advantage over Aberdeen Angus and Limousin was 43.1% and 39.0%. The third grade of meat was more in half-carcasses of Limousin bulls compared to Aberdeen-Angus and Simmental breeds by 3.9% and 33.3%, respectively. The yield of meat in half-carcases of Aberdeen-Angus bulls compared to Limousin and Simmental counterparts is 0.7% and 4.0% higher, the second grade is lower by 0.5% and 5.3%, the third grade is lower compared to of the Aberdeen-Angus breed by 0.4% and larger by 1.0% compared to the Simmental breed. So, summarizing the obtained results regarding slaughter indicators, we can conclude that Aberdeen-Angus bulls differ significantly in terms of meat productivity. Under the same conditions of intensive cultivation, bulls of this breed are characterized by heavier and fuller carcasses.

### **3. The effectiveness of the use of complex mineralized premixes to improve the intensity of growth and development of young cattle**

In Ukraine, the population of beef cattle is small, so beef is obtained from dairy cattle, mainly culled heifers, steers and culled cows<sup>29</sup>. In Ukraine, most livestock enterprises specialize in the development of the dairy industry.

<sup>29</sup> Bown M. D., Muir P. D., Thomson B. C. Dairy and beef breed effects on beef yield, beef quality and profitability: a review. *New zealand journal of agricultural research*. 2016. № 59. P. 174-184.

Therefore, it is currently impossible to increase beef production exclusively due to the intensive development of beef cattle in the direction of productivity. More than 95% of beef in the country is obtained from dairy and combined cattle.

In the farms of our country, among the dairy breeds of cattle, the Ukrainian black and spotted dairy breed is the most concentrated. The fattening young have good meat indicators and at the age of 12 months reach a live weight of 380-400 kg, at the age of 18 months – 500-520 kg.

Studies report that intensively reared dairy cattle can produce no less heavy carcasses and high-quality meat than beef cattle<sup>30, 31, 32, 33</sup>. In this regard, studies on the meat qualities of bulls of modern dairy breeds in the conditions of the region with certain fodder conditions and developed dairy farming are relevant. Effective development of animal husbandry is possible only with rational use of available fodder in each farm. However, the vast majority of plant feeds do not provide the animals' need for the most important microelements for obtaining high meat productivity indicators, which are important factors for ensuring complete nutrition. The source of nutrients for animals in an easily digestible form are feed additives that can compensate for the lack of nutrients in the diet.

To conduct the research, the task was set to substantiate the use of a corrective mineralized protein-vitamin supplement at the expense of deficient microelements in physiological needs to better ensure the level of realization of the genetic potential of animals for the intensity of growth and development.

Rational rearing of young animals should be based on the effective use of biological laws of animal development, in particular calves up to 6 months of age, because during this period skeletal muscles and axial skeleton grow more intensively, tissues and organs change, body functions are formed and improved.

To study the dynamics of growth and development of young animals up to 6 months of age, two groups of bulls of the Ukrainian black and spotted dairy breed were formed, 10 heads in each, according to the principle of pairs-analogs, taking into account breed, age and live weight. The change in the live weight of steers

---

<sup>30</sup> Ткачук В.П. Порівняльна оцінка росту та розвитку молодняка поліської м'ясної породи. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 109. Ч. 2. С. 135-140.

<sup>31</sup> Yaremchuk O.S., Razanova O.P., Skoromna O.I., Chudak R.A., Holubenko T.L., Kravchenko O.O. Post-slaughter indicators of meat productivity and chemical composition of the muscular tissues of bulls receiving corrective diet with protein-vitamin premix. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. № 13 (3).

<sup>32</sup> Bartoň L., Teslík V., Zahrádková R., Bureš D. Growth, feed efficiency and carcass characteristics of Czech Pied and Holstein bulls. *Czech Journal of Animal Science*. 2003. № 48. P. 459–465.

was studied by individual weighing when the animals were placed for the experiment and every month in the morning before feeding. Based on the results of the weighing, the absolute, average daily gain of live weight and the relative growth rate of the groups of test steers were determined.

The general level of feeding is established on the basis of detailed norms, taking into account the live weight, the planned productivity of bulls. The amount of feed eaten was determined every decade, during two adjacent days, by weighing feed and leftovers. In feeding young cattle when growing meat, the most important period is the milk period. The drinking schemes of experimental bulls were made based on the calculation of feeding one head for 6 months in the control group – 300 kg of whole milk, in the experimental group – 80 kg of whole and 220 diluted substitute of whole milk. From the age of 11 days, the experimental calves were gradually transferred to drinking whole milk substitute, and by the age of 20 days they completely switched to this feed. Dry whole milk substitute was diluted in warm boiled water immediately before drinking. In terms of nutrition, 1 kg of dissolved whole milk substitute corresponded to 1 kg of whole milk. In the same period, the calves of the experimental group were also given the protein-mineral-vitamin supplement Intermix calf as part of the grain part of the diet in the amount of 30%. Premixes are one of the most important elements of animal feeding, which allow to significantly increase the efficiency of production of livestock products, due to the fact that they are an enriching mixture of biologically active substances added to compound feed.

During the period of intensive rearing of calves with the inclusion of whole milk substitute and mineral premix in the rations in the first month, the live weight of the bulls increased by 1.6%, the absolute increase – by 4.0% compared to peers of the control group (table 7).

In the second and third months, a slight difference was found between the indicators of live weight and absolute growth of the control and experimental groups. Already in the fourth month, the advantage of the animals of the research group in terms of live weight was 2.2%, the absolute increase was 5.2%. At the end of the fifth month of cultivation, these indicators were 2.7 and 5.5%, respectively, in favor of the Bugai breeders, which were fed the Intermix protein-vitamin-mineral supplement. At the end of 6 months of rearing, the animals of the experimental group exceeded their counterparts in the control group by 3.4% in live weight, and by 8.4% in absolute growth.

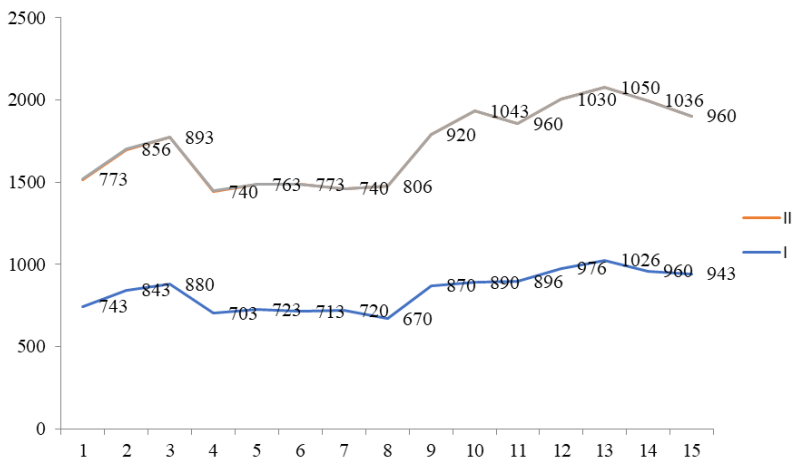
Table 7

**Intensity of growth of cattle during the dairy period, M±n, n=10**

Age periods	Live weight, kg		Absolute growth, kg	
	1-control	2-experimental	1-control	2-experimental
At birth	33.5±1.04	33.5±1.84	-	-
1	55.8±0.64	56.7±1.24	22.3±0.24	23.2±0.17
2	81.1±0.91	82.4±1.18	25.3±0.18	25.7±0.24
3	107.5±2.11	109.2±2.87	26.4±0.36	26.8±0.19
4	128.6±2.46	131.4±2.18	21.1±0.29	22.2±0.26
5	150.3±3.33	154.3±2.37	21.7±0.18	22.9±0.34
6	171.7±2.56	177.5±1.34	21.4±0.22	23.2±0.17
7	193.3±3.24	199.7±2.11	21.6±0.42	22.2±0.24
8	213.4±2.81	223.9±1.56	20.1±0.34	24.2±0.18
9	239.5±1.97	251.5±2.03	26.1±0.28	27.6±0.12
10	266.2±2.04	282.8±1.65	26.7±0.14	31.3±0.25
11	293.1±1.92	311.6±2.33	26.9±0.18	28.8±0.14
12	322.4±2.43	342.5±2.42	29.3±0.20	30.9±0.26
13	353.2±1.87	374.0±1.37	30.8±0.25	31.5±0.22
14	382.0±2.35	405.1±2.03	28.8±0.12	31.1±0.17
15	410.3±2.07	439.1±2.24	28.3±0.11	28.8±0.10
During the period of the experiment			376.8±2.94	405.6±3.24

The research results showed that the average daily gains during the dairy period of growing calves were higher in the experimental group: in the first month – by 40 g, in the second and third – by 13 g, in the fourth – by 37 g, in the fifth – by 40, and in the sixth – by 60 g (Figure 1). Starting from the age of 7 months, the advantage of experimental bulls fed with the Intermix supplement was already more significant in terms of average daily growth. Thus, the difference in 7 months was 20 g, in 8 months – 136 g, in 9 months – 50 g, in 10 months – 153 g, 11 months. – 64 g, 12 months. – 24 g, 13 months. – 24 g and at 14 months – 76 g, 15 months – 17 g.

When putting the animals to the test, the live weight of the bulls was the same. Feeding whole milk replacer to calves instead of whole milk and mineral premix had a better effect on their growth and development, which positively affected the indicators in the following age periods. During the dairy growing period, higher absolute gains were obtained from bulls of the experimental group, exceeding peers from the control group by 5.8 kg, or by 4.5% (table 8).



**Fig. 1. The dynamics of average daily growth of cattle, g**

During the period from 6 months to 12 months of age, the live weight of the Buhay children of the control group increased by 150.7 kg, and that of the experimental group by 165.1 kg, which is 9.6% higher than that of the control group. Over the next three months (12-15 months), the animals of the experimental group, which were fed a diet with the additive Intermix fattening, received 10.0% more absolute growth, compared to peers of the control group. and on average daily gains in live weight. During 6 months of rearing of bulls, 748 g of average daily gain in live weight was obtained, which is 32 g (4.4%) higher than the control peers. During the period from 6 to 12 months of age, the average daily gain was 902 g in the experimental group of animals against 823 g in the control group.

That is, the advantage was 79 g. From the age of one year to 15 months, the Buhay children of both groups had slightly higher growth rates. But feeding the mineral premix had a better effect on the results and in this group of animals 1050 g was obtained, in the control – 954 g (the difference was 96 g). During the entire period of fattening animals in the experimental group, the average daily gain of live weight was 928 g, in the control group – 860 g, which is 68 g less.

The greatest characteristic of animal growth is given by the relative growth rate. Thus, at the age of 6 months, the calves of the experimental group exceeded the control analogues by 16.6 pp, at the age of 12 months – by 3.6 pp, at the age of 15 months – by 3.3 pp.

Table 8

**Indicators of growth intensity of bulls during the fattening period,  
M±n, n=10**

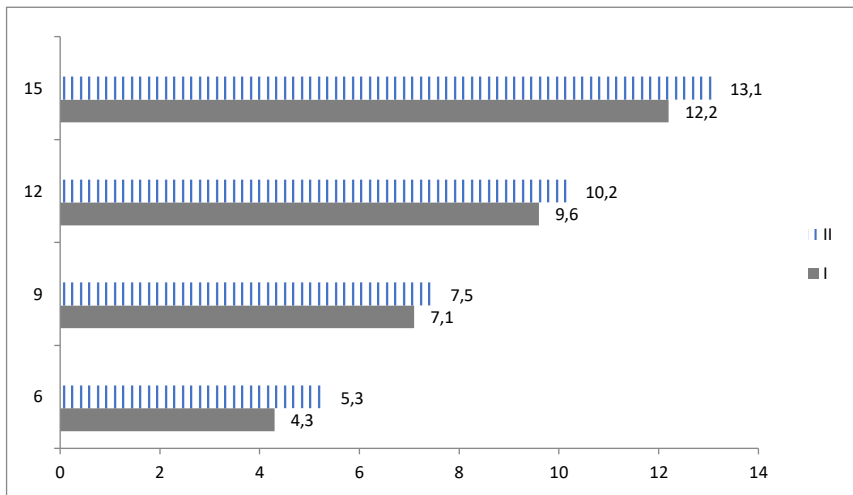
Indicators	Groups	
	1-control	2-experimental
Live weight, kg: at the beginning of the experiment	42.8±1.21	42.8±1.06
in 6 months	171.7±2.56	177.5±1.34
in 12 months	322.4±2.43	342.5±2.42
in 15 months	410.3±2.07	439.1±2.24
Absolute growth, kg		
in 6 months	128.9±2.47	134.7±1.47
in 12 months	150.7±3.25	165.1±2.86
in 15 months	87.8±1.71	96.6±2.45
Average gain per day, g		
in 6 months	716	748
in 12 months	823	902
in 15 months	954	1050
За 1-15 місяців	860	928
Relative growth rate, %		
in 6 months	120.3	122.3
in 12 months	61.2	63.5
in 15 months	23.9	24.7

Thus, feeding bulls during the milking period with whole milk substitute, which did not differ from whole milk in terms of productivity, and Intermix calf mineral premix in their diet ensured intensive growth of experimental animals and this, accordingly, contributed to the reduction of feed costs per 1 kg of growth. Further feeding of mineral premix Intermix fattening in subsequent periods of fattening stimulated the organism of animals to more intensive growth and, accordingly, higher indicators were obtained in terms of average daily growth and live weight gain at the end of fattening. The next stage of the study was the determination of the multiplicity of increase in live weight of animals. Multiplicity of increase in live weight was determined by dividing live weight at 6-, 12-, and 18-months of age by the live weight of newborn animals.

There was a difference in the frequency of increase in live weight between the animals of the studied groups, and this indicator increased with age in both groups. Its variability depending on the level of feeding was in the range of 4.3–13.1. When calculating the multiplicity of increase in live weight of fattening steers, it was found that the animals of the experimental group had



slightly higher indicators during the entire period of the experiment, starting from the age of 6 months (Figure 2).



**Fig. 2. Multiplicity of increase in live weight of fattening steers**

In particular, the advantage was 23.2% at 6 months of age, 5.6% at 9 months, 6.3% at 12 months, and 7.4% at 15 months.

Thus, according to the conducted studies of important vital signs of meat productivity of experimental animals, namely: their live weight, absolute and average daily growth, it was found that the introduction of the studied supplement Intermix calf and Intermix fattening into the main diet had a positive effect on the studied indicators. At the same time, bulls of the experimental group prevailed in the entire set of analyzed traits. The body structure of farm animals is of great importance in determining their productivity. The evaluation of the exterior by measurements is of particular importance, because it is possible to analyze the animal's development at any period of its life, and is an important component in a complex breeding system. The main value of the exterior assessment is to get an idea of the constitutional strength, health of the body, its compliance with the conditions of keeping and in connection with the meat productivity. Taking linear measurements and calculating indices was carried out according to generally accepted zootechnical formulas. To characterize the linear growth, exterior, and general development of the animals, data from zootechnical records were used, and the following measurements were taken using a measuring stick, compass, and tape: height at the withers, height at the back, height at the sacrum, chest depth, chest width, girth chest behind the shoulder blades,

oblique length of the body (stick), width at the hips (hips), wrist circumference. Body structure indices of animals were calculated by the ratio of individual measurements.

The values of the body measurements of the newborn young were at the same level and without significant exterior differences between the groups. Later, starting from the age of three months, the bulls of the experimental group, unlike the control counterparts, were characterized by larger body diameters (table 9).

Table 9

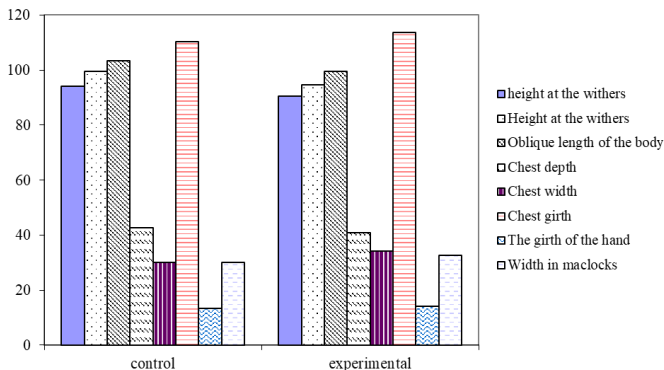
**Age-related changes in the linear diameters  
of calves from birth to 6 months, sm**

Take measurements	Groups					
	control			experimental		
	Age of animals					
	at birth	3 mon.	6 mon.	at birth	3 mon.	6 mon.
Height at the withers	71.7	83.6	94.0	72.0	80.4	90.4
Height at the withers	75.5	87.8	99.5	77.3	85.2	94.7
Oblique length of the body	61.0	84.6	103.4	60.6	81.6	99.6
Chest depth	25.8	36.5	42.7	26.0	35.1	40.9
Chest width	16.8	23.8	30.0	17.2	27.3	34.2
Chest girth	78.4	87.6	110.4	77.6	91.0	113.6
Wrist girth	12.0	12.7	13.3	12.2	13.4	14.0
Width in maclocks	17.5	24.9	30.0	17.1	27.4	32.6

At the age of 3 months, the advantage in the experimental group was 3.5 cm in chest width, 3.4 cm in chest girth; 0.7 cm – by the girth of the wrist and 2.5 cm – by the width in the maklocks. At the end of the dairy growing period, at the age of 6 months, the difference between the indicated indicators in favor of the experimental group was as follows: 4.2 cm, 3.2 cm, 0.7 cm and 2.6 cm, respectively.

Bulls raised on a diet with mineral premix Intermix Calf had lower height measurements. Thus, the oblique length of the trunk in the animals of the experimental group is 3.0 cm less, the height at the sacrum is 2.6 cm, the height at the withers is 3.2 cm, and the depth of the chest is 1.4 cm. By the end of the suckling period ( 6 months) the advantage of bulls of the control group compared to the experimental group was 3.8 cm, respectively; 6.9 cm, 3.6 cm and 1.8 cm. Therefore, when feeding steers with the Intermix supplement, a more intensive growth of latitudinal measurements than of height measurements was observed. The exterior profiles of steers are shown at the age of 6 months after the end of the

suckling period in order to visualize the effect of the Intermix premix on the exterior features of the animals (Figure 3).



**Fig. 3. Exterior profiles of linear measurements of bulls at the age of 6 months**

The presented diagrams show the advantage of test group steers over control analogues in terms of body measurements, which are characteristic of the greater development of young beef cattle, namely, chest width, chest girth behind the shoulder blades, width at the withers and girth of the wrist.

During the next 9 months of the experiment (6-15 months), the steers that received the Intermix fattening protein-vitamin-mineral premix as part of their diet grew more intensively and their live weight increased, and an increase in the diameters of the external sexes of the experimental animals was observed (table 10).

The indicators of the measurements of the animals indicate that in the studied groups they practically did not differ from each other until the age of 6 months, but at the age of one year there was an advantage of the experimental group over the control group, which surpassed their counterparts in larger sizes, slightly elongated, proportionally developed trunks, deep in width chest, broad back, stronger bones. The bulls of the experimental group, which received the studied supplement, differed from the bulls of the control group by body type. Meat forms were better expressed in bulls of this group.

The study of the measurements of the body structure of the bulls of the experimental groups at the end of 12 months of age showed that the animals of the experimental groups showed the greatest intensity of growth in measurements compared to the control, in terms of height at the sacrum by 1.9%, depth of the chest by 3.08%, width of the chest by shoulder blades – by 3.5%, chest girth – by 1.8%.

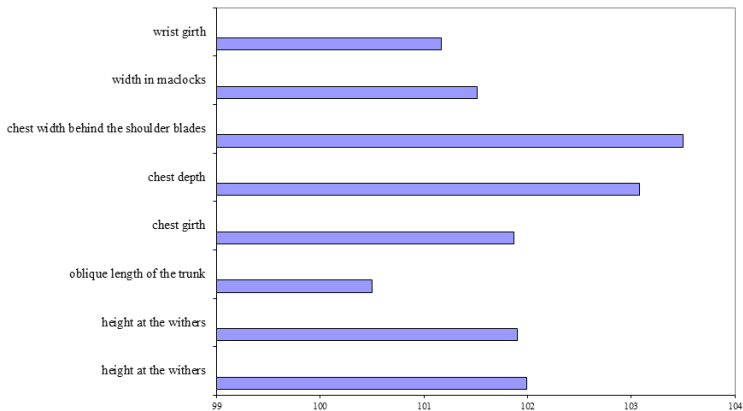
Table 10

**Body measurements in bulls at 12 months of age, centimeters, M $\pm$ n, n=5**

Indicators	Groups	
	control	experimental
Height at the withers	115.1 $\pm$ 0.94	115.9 $\pm$ 2.11
Height at the withers	120.8 $\pm$ 0.73	123.1 $\pm$ 1.95
Oblique length of the body	131.7 $\pm$ 1.12	132.4 $\pm$ 2.08
Chest girth	160.2 $\pm$ 1.28	163.2 $\pm$ 2.43
Chest depth	58.4 $\pm$ 0.34	60.2 $\pm$ 0.68
The width of the chest behind the shoulder blades	42.8 $\pm$ 0.18	44.3 $\pm$ 0.87
Width in maclocks	39.7 $\pm$ 0.26	40.3 $\pm$ 0.24
Wrist girth	17.0 $\pm$ 0.17	17.2 $\pm$ 0.21

In addition, according to such parameters as: width in maklocks, oblique length of the trunk, the advantage was given to bulls of the experimental group (Figure 4).

The relationship between the external forms of the body structure and performance indicators of animals is especially revealed when using the index evaluation of the exterior. The use of body structure indices makes it possible to objectively determine the development of individual sexes, their age variability and productive-typical differences, to distinguish types of body structure and to determine their relationship with the direction and level of productivity of animals in certain economic conditions.



**Fig. 4. Exterior profile of Bugai dogs of the research group at 12 months of age (indicators of the control group are taken as 100%)**

With the help of animal index indicators, it is easier to notice the ratio of anatomically related body measurements of experimental animals. We studied the parameters of the physique index of bulls of experimental groups aged 12 months (table 11).

Table 11

**Indexes of body structure of bulls at 12 months of age, %, M±n, n=5**

Indicator	Group	
	control	experimental
Stretch marks	114.4±3.22	114.2±3.14
Long-legged	48.9±1.01	48.0±0.73
Pelvic-thoracic	107.8±1.95	109.9±3.06
Pectoral	73.2±1.47	73.5±1.02
Beaten up	121.4±3.48	123.3±3.43
Overgrowth	104.9±3.02	106.2±2.88
Bony bones	14.7±0.51	14.8±0.27
Massiveness	139.1±2.90	140.8±3.51

The obtained data indicate that the animals of the experimental group had a higher body composition index. Thus, they had higher indices such as thoracic, pelvic-thoracic, knockdown, overgrowth and massiveness than the control, which correspond to the body structure of animals raised for meat. According to the indicator of the index of sloppiness by 1.9%, massiveness – by 1.7%, pelvic-thoracic – by 2.1%.

#### **4. Post-slaughter indicators of meat productivity and chemical composition of muscle tissue of cattle fed protein-vitamin premix**

The main indicators of the meat qualities of animals are the mass of the carcass and its morphological composition. In order to study the meat productivity and meat quality of the test steers, a control slaughter was carried out after the end of the experience (15 months). Heavy, well-muscled carcasses were obtained from the bulls, which were assigned to the first category. To carry out the chemical composition of beef, samples were taken in the region of 9-12 ribs of half-carcasses and examined according to generally accepted methods<sup>34</sup>:

- total moisture content – by the method of drying meat to a constant mass in a drying cabinet at a temperature 100-105°C;
- fat content – by the Soxhlet method, when fat is extracted from meat with ethyl ether followed by its distillation and drying of the fat;

---

<sup>34</sup> Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині : Довідник / В.В. Влізло, Р.С. Федорук, І.Б. Ратич, та ін.. Львів: СПОЛЮМ, 2012. 764 с.

– protein content – by the Kjeldahl method, based on total nitrogen (nitrogen x 6.25);

– ash content – burning of a meat sample in a muffle furnace at a temperature of 400-450 0C; The energy value of beef was determined mathematically, using data on the amount of dry matter, ash and fat. The caloric content of meat was determined based on the data of chemical analysis according to the formula:  $K = [C - (Ж + 3)] \times 41 + Ж \times 93$ , where K is the caloric content of meat, kcal/kg; C – dry matter, %; F – fat, %; C – ash, %; 41 – calorie content of 10 g of protein, kcal (1% of kg); 93 – calorie content of 10 g of fat, kcal (1% of kg). Tasting evaluation of meat and broth from a sample of the longest muscle of the back was carried out on a 5-point scale. Meat was evaluated according to indicators of aroma, taste, tenderness and juiciness. The broth was evaluated based on its appearance, color, aroma, and taste. The results of the slaughter of experimental bulls showed that the best slaughter qualities were characterized by the bulls of the experimental group, which received the mineralized protein-vitamin supplement Intermix as part of the diet. More complete carcasses were obtained from them and, accordingly, during deboning, more edible parts of the carcass were obtained. In this group of animals, compared to the control, a higher slaughter yield (by 2.6%) and carcass yield (by 2.4%) was obtained, but the reliability of the increase was not confirmed (table 12).

Feeding bulls a diet with the studied additive Intermix fattening affected the nature of growth and development of muscles and bones, the intensity of fat deposition, which led to changes in the morphological composition of carcasses and the ratio of their individual parts. In the experimental group of steers, a greater mass of pulp was obtained by 10.8% ( $p < 0.05$ ) and, accordingly, a higher yield of pulp by 3.4 pp. ( $p < 0.001$ ).

Table 11

**Slaughter rates of cattle for feeding protein-vitamin premix  
Intermix fattening,  $M \pm n$ ,  $n=5$**

Indicator	Groups	
	control	experimental
Slaughter yield, %	$55.9 \pm 0.5$	$57.4 \pm 0.27$
Weight of the steamed carcass, kg	$224.1 \pm 5.6$	$245.6 \pm 6.0^*$
Carcass yield, %	$54.4 \pm 0.5$	$55.7 \pm 0.25$
Mass of pulp, kg	$171.4 \pm 4.8$	$189.9 \pm 3.8^*$
Pulp yield, %	$76.92 \pm 0.35$	$79.54 \pm 0.23^{***}$
Bone yield, %	$18.34 \pm 0.36$	$17.46 \pm 0.30$
Yield of tendons and cartilage, %	$3.89 \pm 0.17$	$2.99 \pm 0.18^{**}$
Coefficient of fleshiness	$3.50 \pm 0.08$	$3.89 \pm 0.05^*$
Pulp output per 100 kg of live weight, kg	$41.89 \pm 0.55$	$42.93 \pm 1.0$

A slightly smaller yield of bones was obtained in the carcasses of the Bugai animals of the research group – by 4.8 pp, tendons and cartilage – by 23.1 pp. It should be noted that an increase in the fleshiness coefficient by 11.1% ( $p < 0.01$ ) was found in the group of experimental Bugai cattle. The yield of pulp per 100 kg of pre-slaughter weight in the experimental group is 2.5% higher. Meat quality is determined by morphological and histological structure, chemical composition, and physical properties. The study of the chemical composition is fundamental when evaluating meat. For the comprehensive assessment of meat, taking into account its quality indicators, important importance is attached to the study of the chemical composition of the longest muscle of the back, taking into account that its average sample includes not only muscles, but also intermuscular fat. In the muscle tissue of cattle fed Intermix, a higher content of dry matter by 0.78% ( $p < 0.05$ ) and protein – by 0.85% ( $p < 0.05$ ) was found compared to similar indicators of the control group ( table 13).

Table 13

**Chemical composition and caloric content of the longest back muscle of Bugai cattle at 15 months of age, M $\pm$ n, n=5**

Indicator	Group	
	Control	Experimental
Dry matter, %	24.00 $\pm$ 0.14	24.78 $\pm$ 0.23*
Protein, %	20.58 $\pm$ 0.16	21.43 $\pm$ 0.20*
Fat, %	2.462 $\pm$ 0.053	2.330 $\pm$ 0.031
Ash, %	0.964 $\pm$ 0.021	1.018 $\pm$ 0.018
Calorie content, kcal	1072 $\pm$ 6	1095 $\pm$ 10

The reliability of the decrease in the fat content in the beef of the experimental group (by 0.13%) and the increase in ash by 0.05% was not established. A higher content of fat in the flesh of the carcass of bulls of the experimental group led to a decrease in the moisture content, and a lower content of fat in the flesh of the carcass of peers of the control group led to an increase in the water content. Analysis of samples of the longest back muscle of experimental steers showed that the ratio of moisture to dry matter was favorable and was 3.03:3.17. The quality of meat is also evaluated by the ratio of protein and fat in it. In experimental bulls, the ratio was 8.3:1–9.2:1. In the samples of the experimental group, the indicated indicator was slightly higher (9.2:1). The ratio of moisture and fat in the flesh of carcasses characterizes the maturity of the meat. At the age of 15 months, the index of 32.3% was obtained from steers that received a protein-vitamin premix as part of the diet, and 30.9% in the control group. This testifies to the fact that the studied supplement contributes to a greater synthesis of fat in the body of cattle. The

different content of protein and fat in the flesh of bull carcasses affected their higher energy value. The longest back muscle in the experimental bulls of the groups was distinguished by a higher energy value – by 23 kcal, or by 2.1%. Therefore, the mineralized protein-vitamin premix Intermix for fattening when fed to cattle in conditions of mineral deficiency of microelements in the forage of the diet contributes to the activation of metabolic processes, which contributed to the increase of post-slaughter indicators of meat productivity, improvement of the morphological composition and quality of the carcass. 15-month-old young animals fed the premix diet surpassed their peers in terms of slaughter weight by 9.8% ( $p<0.05$ ) and carcass weight by 9.5% ( $p<0.01$ ). In terms of fleshiness, there was an advantage in the group of Bugai cattle fed with the supplement: the fleshiness index was higher by 11.1% ( $p<0.05$ ), the pulp of a higher grade was obtained – by 27.3% ( $p<0.001$ ), the first variety – by 11.5% ( $p<0.01$ ) more. In the muscle tissue of the longest muscle of the back of cattle, which consumed the Intermix supplement in the diet, the content of dry matter was higher by 0.78% ( $p<0.05$ ), protein – by 0.85% ( $p<0.05$ ). During the tasting evaluation of meat and broth, it was found that beef from young animals of the research group had better indicators compared to the meat of peers from other groups (table 14).

According to the indicators of aroma, taste, tenderness and juiciness of the meat, no significant intergroup differences were found.

Table 14

**Tasting evaluation of beef after feeding Intermix supplement**

Indicator	Boiled meat		Bouillon	
	Group			
	control	experimental	control	experimental
Appearance	3.45±0.26	3.73±0.18	3.98±0.09	3.77±0.11
Aroma	3.38±0.22	3.03±0.13	3.87±0.13	3.80±0.13
Taste	3.76±0.14	3.40±0.16	4.06±0.12	3.94±0.10
Tenderness	3.14±0.13	2.87±0.12	-	-
Succulence	3.33±0.16	2.94±0.14	-	-
Gpa	3.41±0.18	3.17±0.12	3.97±0.18	3.84±0.14

Due to the increase in the live weight of the experimental group, the indicators for the aroma, taste, juiciness and tenderness of the meat decreased slightly, as well as slightly lower scores obtained for the evaluation of the broth according to appearance, aroma and taste.



## CONCLUSIONS

1. The productivity of fattening young cattle is most affected by balanced feeding, which is based on the needs of animals in various types of nutrients, vitamins, and mineral elements.

2. With the concentrated type of feeding and the introduction of trace elemental salts, Aberdeen Angus were characterized by more intensive growth and had the highest average daily gains – 1510 g with an advantage over Limousin breed analogues of 5.3%, Simmentals – 14.6%. The highest slaughter yield was obtained from bulls of the Aberdeen-Angus breed (60.3%), which is 4.6% more than Limousins, and 5.1% more than Simmentals. Under the same conditions of intensive cultivation, bulls of this breed are characterized by heavier and fuller carcasses. The yield of pulp in the carcasses of the Aberdeen-Angus breed was 79.7%, which is more compared to Limousins by 0.4%, and to Simmentals – by 0.7%. The weight of half-carcasses of first-class Aberdeen-Angus bulls was 2.2% higher than that of Limousin, and 7.9% of Simmental.

3. Feeding bulls during the milking period whole milk substitute and mineral premix Intermix calf in their diet ensured more intensive growth of experimental animals and this, accordingly, contributed to the reduction of feed costs per 1 kg of growth. At the end of the 6-month breeding period, bulls fed with the mineral premix Intermix outperformed the control counterparts by 3.4% in live weight, and by 8.4% in absolute growth. Further feeding of mineral premix Intermix fattening in subsequent periods of fattening stimulated the organism of animals to more intensive growth and, accordingly, higher indicators were obtained in terms of average daily growth and live weight gain at the end of fattening. The calves of the experimental group, which were fed the mineral premix Intermix, exceeded the control analogues by 16.6 pp, the 12-month-old – by 3.6 pp, and the 15-month-old – by 3.3 pp. The bulls of the research group had a more intense growth in latitudinal diameters than in height.

4. Feeding bulls a ration with the researched additive Intermix fattening resulted in obtaining a greater mass of pulp by 10.8% and, accordingly, a higher yield of pulp by 3.4 p.p. an increase in the fleshiness coefficient by 11.1% ( $p < 0.01$ ) was found in the group of experimental cattle. A higher content of dry matter, protein and ash was found in the muscle tissue of cattle fed Intermix.

## SUMMARY

The economic crisis, which led to the decline of domestic agricultural production, caused a sharp deterioration in the conditions for feeding and keeping cattle. Therefore, it is necessary to choose such a system of management of the relevant branch of animal husbandry, which would

correspond to the direction of the expected productivity in order to obtain the maximum amount of high-quality and healthy products from a sanitary point of view. Achieving high productivity of animals is possible only under the condition of adequate feeding and strengthening of the fodder base. Measures to eliminate the deficiency of trace elements should be based on the study not only of the characteristics of biogeochemical zones, but also of individual farms. The optimal concentration of trace elements in body tissues depends on their content in diets and the biological availability of each of them. Considering this, there was a need to find and develop new methods of improving the productivity of animals and the quality of their products in fattening cattle, taking into account the economic characteristics and biogeochemical zones of the region. In view of the above-mentioned reasons, the widespread use of trace elements, vitamins, enzyme preparations and other biologically active substances in the practice of animal husbandry in order to increase the productivity of animals is becoming more and more relevant. Under the concentrated type of feeding and the introduction of trace elemental salts, Aberdeen Angus were characterized by more intensive growth and had heavier and fuller carcasses. Feeding bulls with mineral premix Intermix ensured more intensive growth of experimental animals and this, accordingly, contributed to the reduction of feed costs per 1 kg of growth. mineralized protein-vitamin premix Intermix for feeding cattle in conditions of mineral deficiency of microelements in the feed ration promotes the activation of metabolic processes, which contributed to the increase of post-slaughter indicators of meat productivity, improvement of the morphological composition and quality of the carcass.

### Bibliography

1. Aydin R., Yanar M., Diler A., Kocyigit R., Tuzemen N. Effects of different slaughter ages on the fattening performance, slaughter and carcass traits of brown Swiss and Holstein Friesian young bulls. *Indian Journal of Animal Research*. 2013. № 47 (1). P. 10-16.
2. Bartoň L., Teslík V., Zahrádková R., Bureš D. Growth, feed efficiency and carcass characteristics of Czech Pied and Holstein bulls. *Czech Journal of Animal Science*. 2003. № 48. P. 459–465.
3. Bown M. D., Muir P. D., Thomson B. C. Dairy and beef breed effects on beef yield, beef quality and profitability: a review. *New zealand journal of agricultural research*. 2016. № 59. P. 174-184. <https://doi.org/10.1080/00288233.2016.1144621>
4. Budde A. M., Sellins K., Lloyd K. E., Wagner J. J., Heldt J. S., Spears J. W., Engle T. E. Effect of zinc source and concentration and chromium supplementation on performance and carcass characteristics in feedlot steers 1,2,3. *Journal of Animal Science*. 2019. Vol. 97. № 3. P. 1286-1295. DOI: 10.1093/jas/skz016.

5. Cooke R. F., DiLorenzo N., Di Costanzo A., Yelich J. V., Arthington J. D. Effects of Fermenten (R) supplementation to beef cattle. *Animal feed science and technology*. 2009. Vol. 150. № 3-4. P. 163-174. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2008.08.011.

6. Даньків В.Я., Постол О.І., Зінкевич В.І., Венгрін Я.Д. Вплив згодовування білково-жиро-мінеральної добавки телятам у молочний період на гематологічні показники та активність ферментів в крові. *Сільський господар*. 2012. № 9-10. С. 22-24.

7. Денькович Б.С., Півторак Ю.І., Гордійчук Н. М. Вирощування племінних теличок за використання концентрату «Інтермікс-теля 30%». *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2017. Вип. 19. № 74. С. 147-151. DOI:10.15421/nvvet7433.

8. Довгаль О.В. Розвиток м'ясопродуктового підкомплексу АПК України. *Економічний простір*. 2020. № 164. С. 31–37. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/164-5>.

9. Довгій Ю.Ю., Котелевич В.А., Сеніченко В.Ю. Вплив вітамінно– мінеральних комплексів на морфологічні і біохімічні показники крові телят. *Збірник наукових праць*. Болгарія, Софія. 2019. С. 22–29. 10. 10.

10. Фаріонік Т. В. Вплив хелатних сполук (метіонатів) на морфологічний склад туш та дегустаційну оцінку м'яса отриманого від тварин чорно-рябої м'ясної породи. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2015. Вип. 17. № 3. С. 423-426.

11. Федючка М., Молярчук П., Світельський М., Ревунець А. Вплив мінеральних добавок на ріст і розвиток молодняка ВРХ. *Тваринництво України*. 2010. № 11. С. 32–34.

12. Фурманець Ю.С. М'ясна продуктивність бичків абердин-ангуської породи при згодовуванні у складі комбікормів цеолітових туфів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2010. Т. 12. № 2 (44). Ч. 3. С. 250-2 54.

13. Girard I., Aalhus J., Basarab L., Larsen I.L., Bruce H.L. Modification of beef quality through steer age at slaughter, breed cross and growth promotants. *Canadian Journal of Animal Science*. 2012. Vol. 92. P. 75–188. DOI: 10.4141/cjas2012-001.

14. Glombowsky P., da Silva A.S., Soldá N.M. Mineralization in newborn calves contributes to health, improve the antioxidant system and reduces bacterial infections. *Microbial Pathogenesis*. 2018. Vol. 114. P. 344-349. doi: 10.1016/j.micpath.2017.12.012

15. Гончарук А. П. БВМД «Інтермікс» у раціонах відгодівельних свиней. *Науковий вісник Львівського національного університету*

ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. 2016. Вип. 18. № 67. С. 52–57.

16. Gorlov I. F., Trukhachev V. I., Randelin A. V., Slozhenkina M. I., Shlykov S. N. Forming the quality indicators to beef by feed additives «Yoddar-Zn» and «Glimalask-Vet». *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. Vol. 7. № 3. P. 2323.

17. Грибан В. Г., Милостіва Д. Ф. Забійні якості та хімічний склад яловичини для збагачення раціону мікроелементами. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. 2014. Вип. 60. № 4. С. 45-49.

18. Ібатуллін І.І., Мельничук Д.О., Богданов Г.О. та ін. Годівля сільськогосподарських тварин. В.: Нова Книга, 2007. 616 с.

19. Кандиба В.М., Ібатуллін І.І., Костенко В.І. Теорія і практика нормованої годівлі великої рогатої худоби : монографія. 2012. 860 с.

20. Казьмірук Л.В., Калінка А. К. Вирощування бугайців планових порід та їх помісей з використанням різних технологій утримання та годівлі у молочному періоді в умовах регіону Буковини. *Аграрна наука та харчові технології*. 2019. Вип. 5 (108). Т. 1. С. 66-75.

21. Kincaid R. L. Assessment of trace mineral status of ruminants: a review. *Journal of Animal Science*. 1999. Vol. 77. № 1. P. 1–10. DOI:10.2134/jas2000.77E-Suppl:1-10.

22. Крук О. М'ясність телят української чорно-рябої молочної породи різного віку. *Тваринництво України*. 2015. № 5. С. 26-30.

23. Мазуренко М. О., Гуцол А. В., Єфимчук С. М. Вплив годування БВМД Інтермікс на продуктивність телят. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2015. Т. 17. № 61. С. 109-113.

24. McCarthy L., Underdahl S. R., Dahlen C. R. Effects of a vitamin and mineral bolus on beef heifer feedlot performance, feeding behavior, carcass characteristics, and liver mineral concentrations. *Transl Anim Sci*. 2020. Vol. 13. № 4(2). P. txaa027. DOI: 10.1093/tas/txaa027.

25. Міхур Н.І. М'ясна продуктивність відгодівельних бугайців та якісні показники яловичини за різної структури раціонів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2015. Т. 17. № 1(61). С. 128-134.

26. Moriel P., Arthington J. D. Effects of trace mineral-fortified, limited preweaning supplements on performance of pre- and postweaned beef calves. *Journal of Animal Science*. 2013. Vol. 91. P. 1371-80. DOI: 10.2527/jas.2012-5469.

27. Muller A., Burren A., Jorg H. Identifying ideal beef and dairy crossbreeds to optimise slaughter yields. *Agrarforschung schweiz*. 2015. Vol. 6. № 1. P. 28-35.

28. Niedermayer E. K., Genther-Schroeder O. N., Loy D.D., Hansen S. L. Effect of varying trace mineral supplementation of steers with or without hormone implants on growth and carcass characteristics. *Journal*

of *Animal Science*. 2018. Vol. 3. № 96. P. 1159-1170. DOI: 10.1093/jas/skx063.

29. Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Purwin C., Modzelewska-Kapituła M. Effects of rearing system and feeding intensity on the fattening performance and slaughter value of young crossbred bulls. *Annals of Animal Science*. 2018. Vol. 18. P. 835–847. DOI:10.2478/aoas-2018-0022.

30. Orikhivskiy T. V., Fedorovych V. V., Mazur N. P., Pirlog A. Dynamics of early growth of heifers of simmental breeds of different production types. *Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology*. 2019. Vol. 20. № 2. P. 366-374. <https://doi.org/10.36359/scivp.2019-20-2.48>

31. Poberezhets J., Chudak R., Kupchuk I., Yaropud V., Rutkevych V. Effect of probiotic supplement on nutrient digestibility and production traits on broiler chicken. *Agraarteadus*. 2021. Vol. 32 (2). P. 7. DOI: 10.15159/jas.21.28.

32. Прилипка Т.М., Захарчук, П.Б. Показники продуктів забою бичків залежно від селеновмісних добавок у раціоні. *Біоресурси і природокоористування*. 2019. Т. 11. № 1-2. С. 146-155. DOI: 10.31548/bio2019.01.016.

33. Razanova O. P. Increasing meat quality quails fed by biological active additives based on submerged bees. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8. № 1. P. 631-636. DOI: 10.15421/2017\_259.

34. Разанова О.П., Скоромна О.І., Яремчук О.С., Побережець Ю.М. Інтенсивність росту бичків молочного періоду за впливу добавки Інтермікс. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 125. С. 176-184. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.125.25.

35. Разанова О.П., Яремчук О.С., Гутий Б.В., Новгородська Н.В., Фаріонік Т.В. Вплив БВМД Інтермікс на живу масу та лінійні проміри бичків української чорно-рябої молочної породи. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво*. 2022. Вип. 1 (48). С. 65-71. DOI: 10.32845/bsnau.lvst.2022.1.10.

36. Sawant P. Effect of Supplementation of Minerals and Vitamins on Growth Performance of Indigenous Heifers. *Indian Journal of Animal Nutrition*. 2013. Vol. 30. Vol. 4. P. 387-391.

37. Schaefer A. L., Stanley R. W., Tong A. K.W., Dubeski P., Robinson B., Aalhus J. L., Robertson W.M. The impact of antemortem nutrition in beef cattle on carcass yield and quality grade. *Canadian journal of animal science*. 2006. Vol. 86. P. 317-323.

38. Сегеда С.А. Статистичний аналіз споживання м'яса та м'ясопродуктів в Україні. *Міжнародний науково-виробничий Журнал «Економіка АПК»*. 2020. № 3. С. 36–46. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202003036>

39. Сеніченко В.Ю. Економічна ефективність використання «Живини» у годівлі телят. Органічне виробництво і продовольча безпека. Житомир, 2018. С. 558–561.

40. Шкурин Г.Т., Тимченко О.Г., Вдовиченко Ю.В. Забійні якості великої рогатої худоби: методики досліджень. К. : Аграрна наука, 2002. 50 с.

41. Скоромна О.І., Гордій А.М., Голембівський С.О., Разанова О.П., Вікарчук Н. Ефективність розведення кросів бельгійської блакитної породи великої рогатої худоби в Україні. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 125. С. 184-193. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.125.26

42. Syrovatko K. M., Vuhliar V. S. The effect of additives with essential oils on the productivity of young pigs. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2021. Vol. 12. № 1. P. 92-95. DOI: 10.15421/022114.

43. Tagirov N. H., Gubaidullin N. M., Fakhretdinov I. R., Khaziahmetov F. S., Avzalov R. K., Mironova I. V., Iskhakov R. S., Zubairova L. A., Khabirov A. F., Gizatova N. V. Carcass quality and yield attributes of bull calves fed on fodder concentrate. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. № 8. P. 6597–6603. DOI: 10.36478/jeasci.2018.6597.6603.

44. Ткачук В.П. Порівняльна оцінка росту та розвитку молодняка поліської м'ясної породи. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 109. Ч. 2. С. 135-140. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-2.21>

45. Цуп В.І., Тихонова Б.Є., Федорович В.С. Використання ехінацеї пурпурової у складі мінеральновітамінного преміксу при вирощуванні телят. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2015. Вип. 17. № 3. С. 337-342.

46. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині : Довідник / В.В. Влізла, Р.С. Федорук, І.Б. Ратич, О.І. Вішур, М.М. Шаран, І.В. Вудмаска, Є.І. Федорович, Д.Д. Остапів, П.В. Стапай, О.М. Бучко, А.В. Гунчак, Ю.Т. Салига, О.М. Стефанишин, І.І. Гевкан, Я.В. Лесик, М.Р. Сімонов, І.В. Невоструєва, М.М. Хомин, К.Б. Смолянінов, В.В. Гавриляк, Г.В. Колісник, І.М. Петрух, Н.А. Брода, І.В. Лучка, І.І. Ковальчук, С.Й. Кропивка, Н.М. Параняк, В.М. Ткачук, М.І. Храбко, О.В. Штапенко, Є.О. Дзень, І.Я. Максимович, В.В. Федорович, Л. Л. Юськів, О.П. Долайчук, Л.А. Іваницька, Я.М. Сірко, В.О. Кисців, О.В. Загребельний, Р.П. Сімонов, Г.М. Стояновська, Б.Я. Кирилів, М.І. Кузів, Х.Я. Майор, Н.В. Кузьміна, Н.І. Талоха, Б.Б. Лісна, Д.О. Климишин, Т.В. Чокан, М.В. Камінська, М.Р. Козак, А.В. Олійник, Н.В. Голова, В.В. Дубінський, Р.Я. Іскра, Й.Ф. Рівіс, Н.Л. Цепко, В.І. Кишко, Н.П. Олексюк, Г.Г. Денис, Ю.І. Сливчук, Ю.В. Мартин; за ред. В.В. Влізла. Львів: СПОЛОМ, 2012. 764 с.

47. Yaremchuk O.S., Farionik T.V. Effect of chelate compounds of microelements on the organism of agricultural animals. *Modern engineering*

*and innovative technologies*. 2022. Vol. 23. Part 1. P. 99-115. DOI: 10.30890/2567-5273.2022-23-01-029

48. Яремчук О. С., Фаріонік Т. В., Разанова О. П., Скоромна О. І., Ушаков В. М. Наукові підходи обґрунтування щодо використання мікроелементних хелатних сполук за виробництва яловичини в умовах дефіциту мікроелементів : монографія. Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 196 с.

49. Yaremchuk O.S., Razanova O.P., Skoromna O.I., Chudak R.A., Holubenko T.L., Kravchenko O.O. Post-slaughter indicators of meat productivity and chemical composition of the muscular tissues of bulls receiving corrective diet with proteinvitamin premix. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13. № 3. P. 219-224. DOI:10.15421/022228

**Information about the authors:**

**Razanova Olena Petrivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Associate Professor at the Department of Technology of Production,  
Processing of Animal Husbandry and Feed Products  
Vinnytsia National Agrarian University  
3, Soniachna str., Vinnytsia, 21008, Ukraine

**Farionik Taras Volodymyrovych,**

Candidate of Veterinary Sciences  
Associate Professor at the Department of Veterinary Hygiene,  
Sanitation and Expertise  
Vinnytsia National Agrarian University  
3, Soniachna str., Vinnytsia, 21008, Ukraine

**Skoromna Oksana Ivanivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Associate Professor at the Department of Technology of Production,  
Processing of Animal Husbandry and Feed Products  
Vinnytsia National Agrarian University  
3, Soniachna str., Vinnytsia, 21008, Ukraine

## MINERAL ELEMENTS IN SHEEP NUTRITION AND WOOL PROCESSES

Stapay P. V., Stakhiv N. P., Salyha Yu. T.

### INTRODUCTION

One of the most important factors in the rational and complete feeding of farm animals is to provide them with the necessary mineral elements in optimal quantities and proportions, since they play an extremely important and multifaceted role, although they themselves have neither plastic nor energy values. Mineral elements are indispensable components of all living organisms. Their content in the animal body is 2,4–4,8%, and they play an extremely important role in metabolism as one of the links in the metabolic pathway in it<sup>1</sup>.

Mineral elements are involved in the construction of micro– and macrostructures of various tissues (in the formation of bone tissue and cell membrane construction), in the regulation of osmotic pressure in biological fluids and in maintaining the acid-base balance of the reaction of the environment (pH) at a certain level, due to their participation in the formation of buffer systems of biological fluids and tissues. They affect the permeability of cell membranes and blood vessels, perform important functions in the formation of stability of biological colloidal systems, stimulate the growth and development of symbiotic microflora of the gastrointestinal tract, regulate enzymatic processes and bacterial protein synthesis in ruminant rumen, and also play an important role in the processes of reproduction, immune defense, hematopoiesis and intracellular metabolism, cell respiration, etc. Mineral elements are part of proteins (Se, S), enzymes (Zn, Cu, Ni, Mo, Fe), coenzymes (P, Co), vitamins (Co), hormones (I, Zn) and simply participate in various parts of metabolism<sup>2, 3, 4, 5, 6, 7</sup>.

---

<sup>1</sup> Седіло Г. М. Роль мінеральних речовин у процесах вовнуутворення. Львів: «Афіша». 2002. – 184 с.

<sup>2</sup> Stewart WC, Scasta JD, Taylor JB, Murphy TW, Julian AAM. Invited Review: Mineral nutrition considerations for extensive sheep production systems. *Applied Animal Science*. 2021;37 (3): 256–72.

<sup>3</sup> Сологуб, Л. І. Йод в організмі тварин і людини (Біохімічні аспекти). *Біологія тварин*. – 2005. – 7 (1-2), с. 31-50.

<sup>4</sup> Robin W Warne. *The Micro and Macro of Nutrients across Biological Scales*. *Integrative and Comparative Biology*. 2014; 54(5): 864-72.

<sup>5</sup> Sunday A Adedokun, Opevemi C Olojede. *Optimizing Gastrointestinal Integrity in Poultry: The Role of Nutrients and Feed Additives*. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019; 5(348): 1–11.

<sup>6</sup> Zduniak P, Surmacki A, Erciyas K, Yavuz, Chudzińska M, Barańkiewicz D. Are there different requirements for trace elements in eumelanin– and pheomelanin-based color production? A case study of two passerine species. *Comp Biochem Physiol A Mol Inegr Physiol*. 2019; 175: 96–101.

<sup>7</sup> Rao KR, Padmavathi JJ, Raghunath M. Maternal micronutrient restriction programs the body adiposity, adipocyte function and lipid metabolism in offspring: a review. *Rev Endocr Metab*. 2012; 13 (2): 103–8.



About 96–98% of dry matter in plant and animal tissues consists of Carbon, Hydrogen, Oxygen and Nitrogen. Animal bodies contain more Carbon and Nitrogen, and plant tissues contain more Oxygen.

Under the influence of high temperature (during combustion) or a mixture of concentrated acids, the organic matter of plant and animal tissues burns out with the release of carbon dioxide, water and ammonia, and the inorganic part remains in the form of a precipitate – ash. The elements found in the ash, purified from impurities, are classified as mineral (inorganic, ash).

Currently, more than 80 mineral elements (macro- and microelements) have been found in the body of animals and in the composition of plants. At the same time, 50 of them are quantified and serve as permanent components of the body.

Pure and dry (devoid of mineral and plant impurities and sweat) wool is almost 97 % composed of keratin protein and only a small amount is represented by non-protein components – lipids, macro-and micronutrients, carbohydrate and protein metabolism products – uric acid, purines, amino acids, urea, glycogen, citric acid, phenols, etc. Like all protein substances, keratin consists of Carbon (49–52%), Hydrogen (5–7%), Oxygen (21–24%), Nitrogen (15–21%). However, one of the features of keratin, that distinguishes it from other protein compounds, is the high content of Sulfur (2–5%). In addition to Sulfur, sheep's wool contains many other minerals. With the help of new research methods, especially absorption spectrophotometry, it was found that keratin fibers contain about 37 elements. These are calcium, sodium, potassium, phosphorus, magnesium, iron, zinc, copper, silicon and others. One kilogram of dry matter of wool contains 4,2 g of ash, including 2300 mg of Calcium, 305 – Sodium, 185 – Magnesium, 137 – Phosphorus, 115 – Zinc, 60 – Iron, 45 – Potassium, 25 – Manganese and 25 mg of Copper. More than 30 % of wool ash is silicon<sup>8</sup>.

Therefore, taking this into account, mineral elements must constantly enter the body with food and thereby ensure normal metabolism and energy, the functioning of enzymes, hormones, vitamins, tissues and products.

The main source of nutrients from which farm animals build their bodies is vegetable feed. The main component of the successful management of any branch of animal husbandry, including sheep breeding, is, first of all, the organization of a stable feed base to ensure balanced feeding of animals according to improved standards<sup>9, 10, 11</sup>.

It should be noted that there is no clear boundary between organic and mineral elements, as this division is arbitrary, since the metabolism in the body is only one and the mineral metabolism is one of the links in this

---

<sup>8</sup> Стапай П.В., Огородник Н.З., Бальковський В.В., Павкович С. Б. Фізіолого-біохімічні основи формування вовнової продуктивності овець. – Новий світ-2000. – 2021. – 150 с.

<sup>9</sup> ARC (Agricultural Research Council). The nutrient requirements of ruminant livestock. The Gresham Press, London. 1980.

<sup>10</sup> National Research Council. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. The National Academies Press, Washington. DC. 2007.

<sup>11</sup> SCA (Standing Committee on Agriculture). Feeding Standards for Australian Livestock: Ruminants. 1990.

common chain. An example is the metabolism of Phosphorus, an element that binds all the processes of protein, carbohydrate, lipid, mineral and energy metabolism in the body. This to some extent also applies to S, Mg, Fe, Zn.

In feed, mineral elements are in the form of mineral and organic compounds of various complexity, which are often difficult to digest for the animal organism. Therefore, in order to meet the needs of animals in minerals, it is necessary to know not only their content in feed, but also the degree of assimilation by the body, which varies significantly depending on the species of animals, their physiological state, age and productivity level. It has been found that some minerals are better used by ruminants, others by monogastric ones. The absorption of mineral elements decreases with age. Pregnant animals absorb mineral elements better<sup>12, 13</sup>.

The concentration of macroelements in the dry matter of the sheep diet directly depends on the sex and age group, physiological state, live weight and productivity level of animals<sup>14</sup>. Thus, for ewes with twin lambs, due to more intense metabolic processes in the body and the loss of minerals with milk, a higher need for almost all limiting macro- and microelements is characteristic<sup>15, 16</sup>. It is noted that, first of all, for young sheep in intensive breeding and fattening, calcium and phosphorus are needed, which ensure the formation of bone tissue and the growth of animal skeleton.

Many factors influence the digestibility and utilization of feed nutrients, among which the level and ratio of mineral elements in the diet is important. In the complex mechanisms of metabolism, mineral elements are in close connection and interaction not only with each other, but also with organic components. Knowing the features of these connections allows you to direct the metabolic processes in the body in the direction of their most efficient use and obtaining the highest productivity from animals.

---

<sup>12</sup> Науково-практичні основи нормованої годівлі овець та кормовиробництва. – Монографія за ред. Іовенко В.М. – Херсон. – 2022. – ОЛДІ-ПЛІУС. – 700 с.

<sup>13</sup> Masters D G. Practical implications of mineral and vitamin imbalance in grazing sheep. *Animal Production Science*. 2018; 58 (8): 1438-50.

<sup>14</sup> Кононенко В. К. Мінеральна поживність кормів та балансування раціонів високопродуктивних корів у Київському Поліссі // Матеріали міжнар. науково-практичної конференції, «Актуальні проблеми годівлі с/г тварин і технології кормів». – Київ. – 2003. – С. 20–22.

<sup>15</sup> Khan MJ, Abas A, Ayaz M. Factors affecting wool quality and quantity in sheep. *African Journal of Biotechnology*. 2012; 11 (73): 13 761–6.

<sup>16</sup> Стапай П. В., Дружина О. С., Ткачук В. М. та ін. Вплив амінокислот лізину, метіоніну та Сульфур у на м'ясну і вовнову продуктивність молодняка овець // Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. – Збірник наукових праць. – Харків. – 2014. – Вип. 28. – Ч.2. – с.105-108.

## 1. Biological role of mineral elements in metabolic processes and nutrition of sheep

In recent years, more and more attention has been paid to the important role of mineral elements in the biological functions of the animal organism. Their close relationship with proteins, their influence on the growth, productivity and reproductive functions of animals, tissue respiration, intracellular metabolism, hematopoietic functions, etc. have been established. Trace elements as metal components largely activate or inhibit the action of many enzymes, vitamins, hormones and thus ensure their physiological function and the intensity of metabolic processes. During the life of an organism, mineral elements are excreted in milk, feces, and urine. They cannot be synthesized in the body or replaced by other nutritional components. They enter the body of animals only with food and water.

Numerous studies have established a close relationship between mineral elements and metabolic processes<sup>17, 18</sup>. Elements that influence the body's metabolism in one direction and enhance each other's activity are called synergists, and those that affect the metabolism in the opposite direction are called antagonists. It is important to note that the nature of the interaction between mineral elements is not constant but can change with a deficiency or excess of one or another element. Thus, Cu can be toxic to sheep even at its normal content in the diet (10–11 mg/kg), but on condition that it contains an insufficient amount of Molybdenum<sup>19</sup>. At optimal doses of Mn and I in the diet, the effect of antagonism between them is not manifested. However, at a high level of Mn and a low content of I, the accumulation of the latter in the thyroid gland decreases. Iodine increases the content of Mn, Zn, Cu, Ni and Fe in the animal body. Iodine antagonists include Calcium, Mangan, Cobalt, Plumbum. Sulfur is a Silicium antagonist, and Iodine is a Fluor antagonist. Interactions between mineral elements can also be disturbed with a lack or excess of vitamins, protein, fat, etc. in the feed. Therefore, in this case, it is necessary to note the specifics of the relationship of feed nutrients for different animal species, taking into account their physiological state, productivity, type of feeding, etc.

---

<sup>17</sup> Ткачук В. М., Стапай П. В., Кирилів Я. І. Економічна оцінка підвищених рівнів мінеральних елементів та фільтроперліту у годівлі овець // Науковий вісник Львівського Національного Університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. – Серія «Сільськогосподарські науки». – Львів. – 2014. – Т.16. – № 3 (60). – Ч. 3. – с.193-198.

<sup>18</sup> Дружина О.С., Гавриляк В.В., Стапай П.В. та ін. Показники білкового обміну у крові баранчиків за умов використання у їх раціонах амінокислот лізину, метіоніну та Сульфору // Вісник Сумського національного аграрного університету. – Серія «Тваринництво». – 2014. – Вип. 2 /1 (24). – с.117-120.

<sup>19</sup> Кліщенко Г.Т., Кулик М.Ф., Косенко М.В., Лісовенко В.Т. Мінеральне живлення тварин. К.: Світ. – 2001. – 575 с

The studies have shown a close relationship between mineral elements and protein nutrition<sup>20,21</sup>. The richer the balanced diet in mineral elements is, the more efficiently nitrogen substances are used. In turn, the protein value of the diet has a positive effect on the use of mineral elements. With a simultaneous increase in the level of feeding and protein content in diets, the absorption and use of Ca, P, Na, Zn in the body improves<sup>22</sup>. For example, the assimilation of S from natural feed by animals ranges from 25–70% and depends on the type of feed, the availability and quality of protein, and the presence of non-protein nitrogen compounds in diets. It has been noted that feeds rich in protein are also high in S. Therefore, balanced diets rich in protein are usually characterized by a sufficient amount of this element. The bioavailability of Sulfur for ruminants from different sources is as follows: methionine – 81–100%, sodium sulfate – 60–80% and ammonium sulfate – 60–80%. There is also a close relationship between easily fermentable carbohydrates and individual mineral elements, especially such as Ca, P, Na, Mg, S, Mn, Zn, Cu, Co<sup>23</sup>. A close relationship has also been established between easily fermenting carbohydrates and individual mineral elements, especially Ca, P, Na, Mg, S, Mn, Zn, Cu, Co<sup>24</sup>.

In the processes of intracellular metabolism of fats and their decay products, phosphoric acid compounds are most actively involved. Of the five known fat oxidation reactions, four are associated with Phosphorus. They proceed during absorption, resynthesis and formation of phosphatides.

Mineral metabolism is closely related to water metabolism, therefore water is classified as a mineral substance, since it is the main solvent and participant in all physiological processes of the body. Water is the most important component of various organisms, therefore, it should be considered as an environment in which all biochemical transformations associated with the vital activity of the organism take place. Accordingly, there is a lot of water in the muscles, kidneys, heart (up to 70–80%). Blood passing through the heart has only 3–5% more water than the organ itself. Part of the water is in a bound form (immobile and hydration), which makes it impossible to be mobile. The loss of 10% of water leads to the violation of physiological functions in the body, and 20% causes death<sup>25</sup>.

---

<sup>20</sup> Ібатулін І.І., Мельничук Д.О., Богданов Г.О. та ін. Годівля сільськогосподарських тварин. – Вінниця: Нова книга. – 2007. – 616 с.

<sup>21</sup> Ібатулін І.І., Башенко М.І., Жукорський О.М. та ін. Довідник з повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин. – Київ: Аграрна наука. – 2016. – 336.

<sup>22</sup> Седіло Г. М., Макар І. А., Стапай П. В. та ін. Використання солемінеральних сумішей в годівлі овець у господарствах різних регіонів України. – Львів, 2003. – 16 с.

<sup>23</sup> Стапай П. В., Макар І. А., Гавриляк В. В. Фізіолого-біохімічні основи живлення овець // Львів: Лео-Бланк, – 2007. — 98 с.

<sup>24</sup> Свистула М. Б., Ефремов Д. В., Горб С. В. та ін. Науково-практичні основи нормованої годівлі овець та кормовиробництва. – Херсон: ОЛДІ – Плюс, 2022. – 300с.

<sup>25</sup> Pikhitirova A, Ivchenko V. The elemental composition and microstructure features of sheeps wool in condition of insufficient mineral nutrition. Materials of International scientific and practical conference «Innovation approaches to the development of science» Dublin, Ireland. Veterinary Science. 2018; 2 (5): 26–9.

## **The role of mineral elements in the processes of wool formation in sheep**

The formation and growth of wool, its structure and physico-chemical parameters are genetically determined. However, factors such as breed, age, individual characteristics of the organism, its physiological state, the effect of the season, the nature of nutrition and housing conditions of animals have a significant impact on wool growth and quality. Not only the general level of nutrition but also the nutritionally balanced diet are of great importance. To function well the animal body needs all the mineral elements, but most of all large quantities of Calcium, Phosphorus, Magnesium, Sodium, Chlorine, Sulfur, Potassium, Cobalt, Iodine, Cuprum, Selenium, Silicium are required. This is due to the production of a specific product – wool<sup>26, 27</sup>.

Sheep wool is characterized by a great variety and a set of valuable technological properties. It spins up and felts well, has low thermal conductivity, good electrical and sound resistance, lightness, high strength, hygroscopicity, good permeability to air and ultraviolet rays, is dyed in different shades, and releases heat when wet. In terms of structure and technological properties, it is the most complex substance of all textile fibers both natural and artificial.

Speaking about the mineral composition of wool, it should be emphasized that hair in the broad sense of the word (hair, wool, bristles, etc.) has attracted the attention of a wide range of researchers, especially in terms of its possible use as an indicator of the state of mineral nutrition. In this respect, the hairline is an advantageous object for research. Its unique property is the ability to store data on metabolism both in the body as a whole and in wool-forming structures in particular. The hair itself is characterized by high metabolic inertness, and the minerals in it are firmly fixed with protein structures. Thus, hair analysis is a very informative tool in terms of assessing the intake of minerals into the body and, from this point of view, can be used in both scientific and practical activities.

Currently, there is more and more information about the possibility of establishing the degree of provision of the animal body with minerals by their content in the hair, since the hair is closely related to the metabolism of some mineral elements such as Ca, P, S, Cu, Se, Mg and Fe. Their content in the hair (wool) is a mirror image of the provision of the body with these

---

<sup>26</sup> John A Rippon, John R Christoe, Ronald J Denning, David J Evans, Mickey G Huson et al. *Wool: Structure, Properties, and Processing*. 2016.

<sup>27</sup> Jin YQ, Ding X G, Diao SC, Yu SC, Zhao JX, Zhang JX. Net micromineral requirements for maintenance and growth of ewe lambs at the latter fattening period. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 2020; 33: 1421–9.

substances<sup>28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35</sup>. Studies on the composition of the hairline of humans and animals made it possible to conclude that there are species, intraspecific, age, sex, seasonal differences in terms of the mineral content, as well as the differences related to pathology, physiological condition of the body, environmental conditions, topographic location and growth wool. For example, the content of Mg and Cu in sheep wool is lower than in the hair of goats, cows, and especially horses<sup>36, 37, 38, 39, 40, 41</sup>.

The relationship between the content of mineral substances in the soil and their content in wool has also been found<sup>42</sup>. Many scientific studies report a deficiency of mineral elements in soils and feed, and therefore it is necessary to additionally introduce them into the diets of sheep<sup>43, 44, 45, 46</sup>. However, there

---

<sup>28</sup> Rippon JA et al. Wool, in Encyclopedia of Polymer Science and Technology, New York : Interscience Publishers. 2003.

<sup>29</sup> Fan Q, Wang Z, Chang S, Peng Z, Wanapat M, Bowatte S, Hou F. Relationship of mineral elements in sheep grazing in the highland agro-ecosystem. Australasian journal of Animal Sciences. 2020; 33 (1): 44–52.

<sup>30</sup> Langbein L, Schweizer J. Keratins of the human hair follicle. International Review of Cytology. 2005;243: 1–78.

<sup>31</sup> McManus CM, Faria DA, Lucci CM, Louvandini H, Pereira SA, Paiva SR. Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? Theriogenology. 2020; 155: 157–67.

<sup>32</sup> Hintz HF. Hair analysis as an indicator of nutritional status. Journal of Equine Veterinary Science. 2001; 21(4): A1.

<sup>33</sup> Pereira FS, Carmo ABR, Costa MRGF, Medeiros AN, Oliveira RL, Pinto AP, Carneiro MSS, Lima FWR, Campos ACN, Gomes SP. Mineral requirements of hair sheep in tropical climates. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 2016; 100: 1090–6.

<sup>34</sup> Sefdeen SM. Effect of dietary iron in presence of sulphur on some liver mineral concentrations and performance of growing lambs. Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 2021; 52 (1): 1–9.

<sup>35</sup> Grace ND, Knowles SO, Rounce DM, West DM, Lee J. Effect of increasing pasture copper concentrations on the copper status of grazing Romney sheep. New Zeal. J. Agric. Res. 2012; 41:377–86.

<sup>36</sup> Myros VV, Fominova AS. Sheep and goat breeding: study aid. «Kharkiv», Kharkiv. 2009.

<sup>37</sup> Годівля сільськогосподарських тварин. І.І. Ібатулін, Д.О. Мельничук, Г.О. Богданов та ін. Вінниця : Нова книга, 2007. 616 с.

<sup>38</sup> Довідник з повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин / за наук. ред. І.І. Ібатуліна, О.М. Жукорського. Київ : Аграр. наука, 2016. 336 с.

<sup>39</sup> Седіло Г.М. Роль мінеральних речовин у процесах вовноутворення : автореф. дис. д-ра с.-г. наук : 03.00.04. Львів, 2004. 25 с.

<sup>40</sup> Cannas A, Tedeschi LO, Atzori AS, Fox DG. The Small Ruminant Nutrition System: development and evaluation of a goat sub-model. Ital. J. Anim. Sci. 2007; 6: 609–11.

<sup>41</sup> Гавриляк В. В., Макар І.А. Видові особливості фізико-хімічних показників волоса // Наукові записки Тернопільського Національного Педагогічного Університету ім. В. Гнатюка / Серія: Біологія. – 2011. – № 1 (46). – С. 82-86.

<sup>42</sup> Приліпко Т.М. Селен і сірка в районах вівцематок асканійської тонкорунної породи. Тваринництво України. 2001. № 2. С. 30–31.

<sup>43</sup> Dove H, Masters DS, Thompson N. New perspectives on the mineral nutrition of livestock grazing cereal and canola crops. Animal Production Science. 2016; 56: 1560.

<sup>44</sup> Song C, Shen X. Effect of environmental zinc deficiency on antioxidant system function in Wumeng semi-fine wool sheep. Biol.Trace Elem. Res. 2020; 195: 110–6.

<sup>45</sup> Huo B, Wu T, Song C, Shen X. Studies of selenium deficiency in the Wumeng semi-fine wool sheep. Biol.Trace Elem. Res. 2020; 194: 152–8.

<sup>46</sup> Дзень С.О., Луцка І.В., Талоха Н.І., Салига Ю.Т. Вміст Купруму у ґрунтах, воді та рослинних кормах раціону ВРХ у різних біогеохімічних провінціях Західної України. // Біологія тварин. – 2012. – Т.14. – № 1-2. – с.93-100.

are disagreements on this issue, for example, some researchers believe<sup>47</sup> that the use of Ca in diets is negatively correlated with the content of P and Zn in wool. On the contrary, other data suggest the opposite. In addition, the content of Ca and Mg in wool can be displayed only when there is an excess of them in the diet, and the content of Na – only when it is highly deficient. At present, it is generally recognized that the animal organism should be considered in a close connection with feed factors as the main source of their nutrition. Therefore, the soil, plants and animal organisms are closely related as the only migratory circle. Researchers who have determined the mineral composition of wool note that such elements as Sulfur, Calcium, Phosphorus, Cuprum, Cobalt, Zinc, Selenium and Silicium are among the main indicators of the state of the sheep mineral provision<sup>48</sup>.

Australian researchers in the SCA (1996) standards have proposed minimum levels of mineral elements to meet the needs of sheep depending on the productivity level and growth rate<sup>49</sup>.

The main source of nutrients from which farm animals build their bodies is plant feed. The main component of successful management of any branch of animal husbandry, including sheep breeding, is, first of all, the organization of a stable forage base to ensure balanced feeding of animals in accordance with improved standards. The mineral composition of feed depends on many factors – the type of plants, the place where they are grown, soil, varieties, fertilizers, etc. It is known that biogenic minerals are necessary to ensure the vital activity of the animal organism. It is noted that according to different systems of sheep nutrition rationing, there are certain differences in the norms of mineral elements for sheep.

Table 1

**Comparative characteristics of various mineral nutrition rationing systems for sheep in the dry matter of the diet.**

System	Na, g/kg	Ca, g/kg	P, g/kg	S, g/kg	Cu, mg/kg	Co, mg/kg	Se, mg/kg	I, mg/kg	Zn, mg/kg	Mn, mg/kg	Fe, mg/kg
ARC, 1980	0,8 -2,7	1,4 -4,5	1,2 -3,5	-	1-8,6	0,08- 0,1	0,03- 0,05	0,15- 0,5	30	25	30
SCA, 1990	0,7 -0,9	1,5 -2,6	1,3 -2,5	2,0	5	0,11	0,05	0,5	20- 30	15- 25	40
NRC, 2007	0,9 -1,8	2- 8,2	1,6 -3,8	1,4 -2,6	7-11	0,1- 0,2	0,1- 0,2	0,1- 0,8	20- 33	20- 40	30- 50

It was shown that samples of New Zealand wool from regions with different soil composition differ markedly in the content of Ca, Mg, Zn, Al, Fe, Mn, Ba, Ti, Ni, Mo, S. By the way, this experiment found a direct

<sup>47</sup> Teixeira IAMDA, Resende KTD, Silva AGS, Härter CJ, Sader APDO. Mineral requirements for growth of wool and hair lambs. *Rev. Bras. Zootec.* 2013; 42: 347–53.

<sup>48</sup> Oddy VH, Sainz ARD. Nutrition for sheep meat production. In: Freer, M.; Dove, H. (Eds.) *Sheep nutrition* Wallingford, UK: CABI Publishing. 2002: 237-62.

<sup>49</sup> SCA Feeding Standarts for Australian Lirestoc (SCA). Ruminants Standing Committee on Adriculture (CSIRO; Melbourne). 1990.

correlation between Ca and Mg content in wool, their total content and ash content.

Studying the mineral composition of sheep wool, Fan K. and co-authors found that one kilogram of dry matter contains ash – 4,2 g, Ca – 2300 mg, Na – 305, Mg – 185, P – 137, Zn – 115, Fe – 60, K – 45, Mn – 25, Cu – 25 mg.

A comparative study of the mineral composition of human hair, pig bristles, sheep wool, goat wool, cow hair, horse hair and other animal hair showed that they all have a fairly high content of Ca, Na, K, P, Mg, Fe, Cu, Zn, Si, and especially S. Thus, a more or less comprehensive answer to the question of the role of minerals in wool formation can be given on the basis of analysis of those and some other elements, since they seem to have the most pronounced effect on these processes.

Sheep wool per 1 kg of dry matter contains 16–22 mmol of **Calcium** and 3,2–4,3 mmol of **Phosphorus**. And although there is no direct information about the importance of Calcium in wool formation, some idea of the mechanisms of its action can be formed on the basis of data reflecting the participation of this element in the construction of bone tissue. About 99% of Ca is found in skeletal bones. Thus, it can be assumed that Ca is most likely involved in the process of keratinization of wool fiber, that is, in the final phase of keratin synthesis, just as it occurs during calcification or mineralization of bone. In this case, the formation of bone tissue is presented as a process of organic matter synthesis followed by its calcification occurring in osteoblasts and accompanied by a significant energy consumption. The latter is formed as a result of respiration of these cells and is used for the synthesis of large amounts of mucopolysaccharides and protein-carbohydrate complexes<sup>50, 51, 52</sup>.

All Calcium in wool is in an easily dissociated state and after hydrolysis of the protein turns into an ionic form –  $\text{Ca}^{2+}$ . Therefore, this may indicate that wool Calcium is bound to Phosphorus, specifically to the orthophosphate residue, and apparently forms compounds with the carboxyl groups of aspartic and glutamic acids, and also interacts with glucuronide residues of mucopolysaccharides.

There is an opinion about the possible dependence of the elastic parameters of the fibers on the presence of Ca in them. In particular, it is believed that the higher content of this element in wool is, the less elastic and more fragile it becomes. Good wool is an elastic product up to a certain limit,

---

<sup>50</sup> Sousa DL, Marcondes MI, Silva LP, Wellington FR, Lima Herbster CJ,

Souza JG, Pacheco JPR, Bezerra LR, Oliveira RL, Pereira ES. Macromineral and trace element requirements for Santa Ines sheep. *Sci Rep.* 2021; 11: 12329.

<sup>51</sup> Szigeti E, Katái J, Komlósi I, Oláh J, Szabó C. Newly Grown Wool Mineral Content Response to Dietary Supplementation in Sheep. *Animals.* 2020; 10(8): 1390.

<sup>52</sup> Pedernera M, Mereu A, Villalba JJ. Preference for inorganic sources of magnesium and phosphorus in sheep as a function of need. *Journal of animal science.* 2021; 99(1): skab010.



which is probably determined by the Ca content in the fiber. Therefore, it is possible that Ca is involved in the formation of wool stiffness, which in turn may be important in the formation of technological properties of wool, in particular, its felting. The higher the stiffness of wool fibers is, the lower its feltness is, and therefore such wool becomes more suitable as a raw material for the manufacture of fur products.

As for the role of Phosphorus in the processes of wool formation, it should be considered, first of all, in terms of the importance of this element in the energy of metabolic reactions, including those related to the synthesis of wool fiber keratin. Thus, the specific value of P for wool formation processes is not yet clear, neither is its role in the formation of physical and mechanical properties of wool fibers. Nevertheless, phosphorylated serine was isolated from wool. Therefore, it is possible to think about the presence of a certain amount of phospholipids in it. However, its amount is so insignificant (less than 3,5  $\mu\text{mol/kg}$ ) that we should not talk about the special contribution of this compound to the overall balance of wool Phosphorus.

The content of Calcium and Phosphorus in wool in different periods of its growth is different, which is obviously due to their different intake of sheep with food, seasonal characteristics, their different digestibility, hormonal activity. And importantly, the lack of Ca and P in the diet always leads to a decrease in their content in wool, reducing wool growth and deteriorating its quality. As it turned out, the traditional norms of P and Ca for adult sheep do not always meet their needs, and therefore adding them by 10 and 15% above the norm always gives a noticeable positive effect, which is also biologically justified and economically beneficial. It was found that the total shear of wool was 8,0% higher in animals in which the level of P and Ca was 10% higher<sup>53, 54, 55</sup>.

In the processes of wool formation, the most important role belongs to **Sulfur**. This is primarily due to the fact that it is included in proteins containing sulfur-containing amino acids (cystine, cysteine, methionine), and is also a component of vitamins and hormones. The special role of sulfur-containing amino acids in the metabolism of an animal organism is due to the presence in their composition of sulfhydryl and methyl groups used to synthesize a number of important biochemical compounds – adrenaline, choline, creatine, etc. Sheep, unlike other farm animals, are characterized by a more intensive S metabolism and a greater need for it due to the production of such a specific product as wool, the main component of which is solid keratin – a complex protein compound that differs from other proteins by a

---

<sup>53</sup> Saha SK, Pathak NN. Mineral Nutrition. Fundamentals of Animal Nutrition. Springer, Singapore. 2021: 113–31.

<sup>54</sup> Hynd PI, Masters DG. Nutrition and wool growth. Sheep Nutrition. 2002: 165–88.

<sup>55</sup> López-Carlos MA, Ramírez RG, Aguilera-Soto I et al. Size and shape analyses in hair sheep ram lambs and its relationships with growth performance. Livestock Science. 2010; 31: 203–11.

high content of Sulfur. The total S content in keratin ranges from 2,5 to 4,0 %. In addition, keratin is characterized by high density, poor solubility in water, resistance to many chemical factors and enzymes.

Sulfur in wool is found in various sulfur-containing compounds, but its greatest amount is found in cystine (about 74 %). The latter is precisely the amino acid that plays a decisive role in keratin synthesis and the formation of its mechanical properties, and, consequently, the technological properties in general. Only an insignificant part of Sulfur is found in another sulfur-containing amino acid – methionine – 2,4–4,8% of the total Sulfur. According to available data, the balance of Sulfur in wool consists of such sulfur-containing compounds as cystine, cysteine, methionine, lanthionine, cysteic acid, sulfates, and Sulfur oxidized by bromine<sup>56</sup>.

In addition, the fiber structure contains up to 3% lipids, which are in both the free and protein-bound states. These structural lipids consist of ceramides, cholesterol sulfate, fatty acids and sulfolipids. It is shown that wool with a high content of S and sulfolipids is characterized by the best indicators of physical and mechanical properties, in particular, the tensile strength of fibers<sup>57, 58</sup>.

The content of lantionine and cysteic acid in wool is considered as the exposure to a number of reducing and oxidizing agents. In particular, when wool is exposed to UV rays, its cystine is oxidized to cysteic acid ( $\text{HO}_3\text{SCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$  – cysteic acid). The intermediate products of this reaction are cysteine sulfenic and cysteine sulfonic acids. Hydrogen sulfide is released from unstable cysteic acid, which in turn is oxidized to sulfates with a certain loss of total Sulfur. In an alkaline environment, which is created by sweat, in addition to cysteine, lanthionine is formed from cystine which contains one Sulfur atom less than cystine but similarly to it forms a bond of the type  $\text{R} - \text{S} - \text{R}$  ( $\text{HOOC}(\text{NH}_2)\text{CHCH}_2 - \text{S} - \text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH}$  – lantionine).

As you can see, Sulfur in wool reflects all possible changes in the wool fiber under the influence of various factors, and any change in its balance will depend primarily on cystine, although the redistribution of other sulfur-containing compounds may also have a corresponding effect. Indeed, the Sulfur balance becomes negative immediately after the level of cystine in wool decreases<sup>59</sup>.

---

<sup>56</sup> Eichhorn S, Hearle JWS, Jaffe M, Kikutani T. Handbook of textile fibre structure. Vol. 2: natural, regenerated, inorganic, and specialist fibres. CRC Press. 2009: 532.

<sup>57</sup> Стапай П.В., Стахів Н.П., Смолянінова О.О., Грабовська О.С., Тютюнник О.С. Сульфурвмісні сполуки вовни і їх роль у процесах вовноутворення та формуванні фізико-хімічних властивостей волокон // Наукові праці національного університету харчових технологій. – Київ. – «НУХТ». – 2021. – Т. 27. – № 5. – с. 21-32.

<sup>58</sup> Стапай П.В., Стахів Н.П., Гавриляк В.В., Смолянінова О.О., Тютюнник О.С. Липідне живлення овець // Біологія тварин. – 2020. – Том 22 (2). – с.3-7.

<sup>59</sup> Silva AMA, Silva AG. Tindade IACM et al. Net and metabolizable protein requirements for body weight gain in hair and wool lambs. Small Ruminant Research. 2007; 67: 192–8.

Table 2

**The content of sulfur-containing compounds in wool.**

Sulfur-containing compounds	M±m	% to total Sulfur
Total Sulfur	3,18±0,03	–
Cystine	8,76±0,13	73,54
Methionine	0,59±0,05	4,01
Cysteic acid	0,63±0,04	3,42
Lanthionine	0,06±0,003	0,28
Cystathionine	0,05±0,002	0,22

Therefore, the presented data show that Sulfur plays an important role in the processes of wool formation and the formation of physicochemical and technological properties of wool fibers. The synthesis of keratin itself is closely related to the intensive use of sulfur-containing compounds, mainly cysteine. Keratinization of the wool fiber is accompanied by the oxidation of sulfhydryl groups in disulfide bonds. It is known that 0,71% of the total Sulfur extracts from hair follicles is in disulfide form. Sulfur-containing compounds, in the molecule of which there are SH-groups, on the one hand, are a plastic substrate for building hair keratin, and, on the other hand, determine the activity of enzymes that catalyze metabolic processes in hair follicles<sup>60</sup>.

It has been found that the conversion of the total number of SH groups to disulfide bonds during keratinization releases energy capable of synthesizing approximately 1% of keratin peptide bonds. As for the mechanism of the inclusion of Sulfur in growing hair, it is still unknown. According to some data<sup>61</sup>, Sulfur enters the fiber exclusively in the keratinization zone, and not through the papillae as previously thought.

It has long been shown that the Sulfur content, and therefore its balance in dry wool, can vary widely depending on various factors<sup>62</sup>. Thus, the Sulfur content in wool is influenced by exogenous and endogenous factors. The first are those that affect the wool fiber outside the hair follicle: solar ultraviolet rays, adverse weather conditions, certain chemical factors, especially alkalis. In particular, washing wool in a traditional soap-soda solution is accompanied by an increase in the amount of lanthionine in it and a corresponding decrease in cystine. Wool carbonization has a similar effect. Endogenous factors affect the process of fiber formation directly in the follicle.

<sup>60</sup> Седіло М.Г., Макар І.А., Гавриляк В.В., Гуменюк В.В. Метаболічна і продуктивна дія сірки в організмі овець. – Львів. – «ПАІС». – 2009. – 148 с.

<sup>61</sup> Zahn H. Wool chemistry and processi. Abstracts of Proc. 9th Int. WoolTextileRes. Conf (Biella). 1995: 1–16.

<sup>62</sup> Lee SH, Chang SN. Epidermal lipid and skin barrier. *JournalAerospace Environ. Med.* 1992; 2: 15–24.

Breed and individual characteristics of animals, their physiological state and feeding conditions (especially feeding sheep with S) have a significant effect on the balance of S in wool. It has been established that a sufficient level of S in the diets of ruminants is the key to the normal course of microbiological processes in the rumen<sup>63</sup>. Typically, protein-rich foods are characterized by a fairly high content of S and sulfur-containing amino acids. It has been found that the optimal level of S for sheep is 0,2–0,3 % of the dry matter of the diet.

Of the other elements that also have a specific effect on wool processes from a biochemical point of view, **Cuprum** should be mentioned. Its content in wool, according to mass spectroscopy, is 31–98 µg/g of dry matter. Approximately the same results were obtained by spectrographic analyzes – 31–128 µg/g. Being part of enzymes, Cu directly affects the processes of wool formation, keratinization and pigmentation of wool fiber. It is known that the pigmentation of wool fibers and skin is caused by the presence of a pigment in them– melanin. Melanins are polymers of quinoid compounds that are formed in highly specialized and intensively functioning cells – melanocytes. The functional unit of melanogenesis is the melanocyte-keratinocyte complex<sup>64, 65, 66, 67, 68, 69</sup>.

It was shown that with a lack of Cu, keratinization in the hair follicles slows down, and the sulfhydryl zone lengthens by 2–3 times and can even reach the skin surface. As a result, such wool has much more sulfhydryl groups, which negatively affects its mechanical properties, especially strength and tortuosity<sup>70</sup>.

The lack of Cu in the sheep body also leads to a violation of the tortuosity of wool. With a noticeable deficiency of this element, hair follicles produce fibers that are devoid of tortuosity. As soon as the diet of such animals is enriched with cuprum-containing additives, the hair follicles immediately restore the tortuosity of wool fibers. That is why, the diets of sheep, especially

---

<sup>63</sup> Institut National de la Recherche Agronomique. INRA Feeding System for Ruminants. Wageningen Academic Publishers. 2018.

<sup>64</sup> Hearing VJ, Kobayaski T, Urabe K, Pottert SB, Kameyama K. The characteristics of biological melanins are influenced at multiple points in the melanogenic pathway. *Melanin: Its Role in Human Photoprotection*. Valdemar, Overland Park. 1995: 117–24.

<sup>65</sup> Ito S. Advances in chemical analysis of melanins. The pigmentary system. Oxford Univ. Press. 1998: 439–50.

<sup>66</sup> Ito S, Wakamatsu K, Ozeki H. Chemical analysis of melanins and its application to the study of the regulation, of melanogenesis. *Pigment Cell Res*. 2000; 8(13): 103–9.

<sup>67</sup> Katritzky AR, Akhmedov N, Denisenko SN, Denisko OV. HNMR Spectroscopic characterization of solutions of sepia melanin, sepia melanin free and human hair melanin. *Pigment Cell Res*. 2002; 15: 93–7.

<sup>68</sup> Solohub LI, Antonyak HL, Stefanyshyn OM. The role of copper in the animal organism. *The Animal Biology*. 2004; 6 (1–2): 64–76.

<sup>69</sup> Sousa IKF, Minervino HAH, Sousa RS, Chaves DF, Soares HS, Barros IO, Araújo CASC, Barrêto RAJ, Ortolani EL. Copper deficiency in sheep with high liver iron accumulation. *Vet. Med. Int.* id 207950. 2012: 4.

<sup>70</sup> Sefdeen S. Effect of dietary iron on copper metabolism in sheep. PhD. Anim. Sci., Harper Adams Univ. 2017: 193.

those with colored wool, must be strictly controlled for Cu content. In addition to the fact that Cu affects the pigmentation of the wool cover, it also has a specific effect on the processes of wool formation in general<sup>71</sup>.

The absorption of Cu in animals is significantly affected by Ag, Cd, Zn, Mo, and especially Sulfur, which reduce its assimilation in the digestive tract. The symptoms of Cu deficiency in animals occur as a result of interaction with S, Mo, Ag and Cd.

It is generally believed that for each gram of sulfate added to the diet you need to make an additional 1 mg of Cuprum, given that the diet contains the optimal amount of this trace element.

Sheep are most vulnerable to chronic toxicity of Cu, which has a high level of accumulation in liver cells. Chronic toxicity is usually associated with the consumption of foods with a high ratio of Cu and Mo (10:1). Therefore, Molybdenum is able to significantly reduce the accumulation of Cu in the liver. It is believed that the total need of animals for this element is provided at a content of 7–8 mg/kg. Suttle and McMurray<sup>72</sup> showed that if the Cu content in wool is at the level of 2,5 mg/kg, its deficiency can occur only for a very short period without any impact on the condition of animals and their productivity, and the concentration in the amount of 4,14 mg / kg indicates a sufficient level of it in the feed. In addition, the Cu content in wool is a good indicator because it takes into account all the factors that affect its availability. The interaction between Cu–S, Cu–Mo–S and Cu–Fe has also been established<sup>73</sup>, and Fe additives significantly reduce the availability of Cu in the diets of sheep<sup>74</sup>.

Another no less important mineral for the formation and growth of wool is **Cobalt**, the content of which is 0,17–0,28 mg/g of the substance. With a deficiency of this trace element, the wool loses its luster, which means that in this case there is a violation of the formation of the cuticle of the wool fiber. There are reports that pigmented wool contains more Cobalt than white. Cobalt is known to be a cofactor of cobalamin enzymes (derivatives of vitamin B12) involved in protein synthesis, including keratin<sup>75</sup>.

---

<sup>71</sup> Wang F, Li SL, Xin YJ, Wang YJ, Cao ZJ, Guo FC, Wang YM. Effects of methionine hydroxy copper supplementation on lactation performance, nutrient digestibility, and blood biochemical parameters in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 2012; 93: 5813–20.

<sup>72</sup> Suttle NF. *Mineral Nutrition of Livestock*, 4th. CAB International: Oxfordshire, UK. 2010.

<sup>73</sup> Moyano JC, Marini PR, Fischman ML. Biological Efficiency in Hair Sheep Reared in a Sustainable Farming System in the Ecuadorian Amazon Region. *Dairy and Vet Sci J.* 2019; 11(4): JDVS.MS.ID.555820.

<sup>74</sup> McDowell LR. *Minerals in Animal and Human Nutrition*, second ed. Elsevier Science. 2003; 644.

<sup>75</sup> Guerra MH, Cabrera MC, Fernández D Abella, Saadoun A, Burton A. Se and I status in pregnant ewes from a pastoral system and the effect of supplementation with Se and I or only Se on wool quality of lambs. 2019; 5 (9): e02486.

The role of **Zinc** in wool formation is also important. Its content in the hair varies within a fairly wide range— from 14 to over 280  $\mu\text{g} / \text{g}$  of the substance<sup>76</sup>. The biokinetics of this element in the hair on the basis of studies using isotope techniques looks something like this. After the administration of labeled zinc to experimental animals (rabbits), it accumulates mainly in the interstitial part of the hair follicle bulb, and enters the hair tissue relatively quickly, but its further transport in it is slow. Suffice it to say that within three months after the injection, its content in the hair changes very little. Most zinc accumulates in the area of the top of the hair<sup>77</sup>.

According to Meses<sup>78</sup>, the normal content of Zn in wool is 115–120 mg/kg and is informative enough to determine its content in feed. This element has a significant impact on all parts of the body's metabolism, being an activator of a number of biological substances, as well as a structural component of some of them. Zn deficiency in farm animals causes pathological changes in the skin cover (parakeratosis). In the animal body, Zn is 0.003% of live weight. It is present in almost all organs, but most of it is found in the pituitary gland, gonads, liver, muscles, hair. The optimal need for Zn for all farm animals is 40–50 mg/kg of dry matter. When adjusting the nutrition of ruminants, it should be remembered that Zn competes with Ca, Cu, Fe, Cd, with which it interacts in the process of absorption and metabolism. The concentration of Zn in the diet above 0,1 % is considered toxic.

Another essential element for wool growth is **Iodine**. This is the most famous trace element, the deficiency of which is felt in the vast mountain and flat areas of our planet. Iodine is part of the ash elements of wool (2,7–12,0 mg/kg), and experiments with its radioactive isotope have shown that it is relatively quickly incorporated into the hair root and keratinized fiber. Although its direct importance for wool growth, unlike Sulfur or Copper, has not been established, nevertheless, being an integral part of thyroid hormones, Iodine plays an important role in regulating the processes of wool formation. The above-mentioned data shows the importance of iodine for the sheep body, particularly, the formation of wool productivity. The optimal dose of iodine for sheep is considered to be 0,2–0,4 mg/kg of dry matter in the diet, except for pregnant and lactating ewes, in which the rate is slightly higher, in particular, 0.8 mg per 1 kg of dry matter<sup>79</sup>.

---

<sup>76</sup> Kruze-Jarres JD. Pathobiochemistry of Zinc, Metabolism and Diagnostic Principles in Zinc Deficiency. *J. Lab.Med.* 1999; 23 (3): 141–55.

<sup>77</sup> Chunjie S, Xiaoyun S. Effects of Environmental Zinc Deficiency on Antioxidant System Function in Wumenng Semi-fine Wool Sheep. *Biological Trace Element Research.* 2020; 195: 110–6.

<sup>78</sup> Mezes M. Gazdasagi allotok mikroelem ellatottsaga es egyes mikroelemek szerepe a termelésben. *Agro.Naplo.* 2008; 12: 95–6.

<sup>79</sup> Mc Goven FM, Magee DA, Browne JA, MacHugh D E, Boland T M. Iodine supplementation of the pregnant dam alters intestinal gene expression and immunoglobulin uptake in the newborn lamb. *Animal.* 2016; 10: 598–606.

**Selenium** is one of the trace elements that have a significant effect on the processes of wool formation. In the biogenic zones where there is a lack of this element (southern Ukraine), in addition to changes such as muscular dystrophy in sheep, there is also a slower growth of wool. The role of this trace element has not been definitively established. However, its undoubted participation in the synthesis of keratin wool has been found. In addition, selenium is able to replace sulfur in amino acids, forming derivatives – selenocysteine and selenomethionine. They can be included in keratin molecules as structural compounds, giving it special properties. It is now accepted that the maximum permissible dose of selenium for ruminants is 2 mg/kg of dry matter. However, it should be remembered that for normal growth and development of the organism, the feed should contain one part Selenium per 1000 parts of Sulfur, according to Ivanich<sup>80</sup>, the concentration of Se in wool at the level of 5–10 mg/kg may indicate poisoning with this element. In general, both excess and deficiency of Se in diets can be detected by wool analysis.

And finally, about another element – **Silicon**. Only recently has the role of this element in the processes of wool formation and growth been more or less clarified. Meanwhile, it has long been known that one of the simplest and most reliable diagnostic signs of Si deficiency in the body is brittle nails. It has also been noted that in chronically ill or weak children with lung diseases, the Si content in the nails drops by 30–50%.

According to laboratory analysis data, 31% of sheep wool ash consists of Si. The latter is available even in the hair of newborns. The mechanisms of the influence of Si on wool formation processes have not yet been elucidated, although certain considerations in this regard indicate that its function, being an agent that cross-links keratin macromolecules, provides mechanical stability of wool. In the processes of wool formation, this mineral is necessary for the normal functioning of epithelial and connective tissues, because in the skin Se is associated with amino groups of polypeptide chains and diatomic phenols, making the skin strong, elastic and impermeable.

Therefore, the above-mentioned data indicates that the role of minerals in wool formation is extremely important, but the mechanisms of their influence on these processes are still far from complete decipherment.

In recent years, in many countries of the world with developed animal husbandry, various studies have been carried out to revise and clarify the norms of mineral nutrition for animals and poultry, the research on new effective mineral supplements and the improvement of the technologies for their use has been conducted, since minerals are one of the factors for increasing their productivity.

---

<sup>80</sup> Ivancic JJr, Weiss WP. Effect of dietary sulfur and selenium concentrations on selenium balance of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 2001; 84: 225–32.

Data analysis on the mineral composition of feeds in different regions of Ukraine revealed their deficiency in many of the above elements. At the same time, it turned out that even within certain natural and climatic zones (Forest-steppe, Steppe, Polissya) there are areas that differ in the characteristics of the mineral composition of feed. This is what prompted the scientists of the Institute of Animal Biology of NAAS of Ukraine to develop a scientifically based formulation of mineral mixtures (premixes) for feeding sheep in different biogeochemical zones of Ukraine.

## CONCLUSION

Consequently, it follows from the above that in order to increase the efficiency of absorption of mineral elements it is necessary to take into account the influence of each element on the body separately, as well as their complex effect, that is, it is crucial to find such a ratio in the diet that would ensure maximum assimilation of all the elements and obtain maximum productivity.

## SUMMARY

The article presents scientific data on the biological and productive action of macro- and microelements, their importance in sheep nutrition, the role in the metabolic processes of the body and, in particular, in the processes of wool formation. Data on the positive effect of trace elements obtained by nanotechnological methods and their advantages compared to inorganic salts are also described.

The study aims to analyze the literature data on the role and biological function of the most important macro- and micronutrients in sheep nutrition. When using minerals in the diet of sheep, their biological characteristics should be taken into account, as they are closely related and interact not only with each other but also with organic components of the diet. Knowledge of these features makes it possible to direct metabolic processes in the body towards the most efficient use and obtaining the highest productivity from sheep.

The vital activity and productivity of sheep largely depends on the presence of mineral elements in their diets. In the course of life of the organism mineral elements are constantly removed from it, therefore, the mineral nutrition of animals is controlled by the need and the presence of mineral elements in feed, normalized by the appropriate selection of the latter, and in case of their lack, is regulated by dietary supplements of various macro- and micronutrients.

***Funding.** This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. The authors of*



*this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article*

***Declarations of interest: none.***

### **Bibliography**

1. Седіло Г. М. Роль мінеральних речовин у процесах вовнуотворення. Львів: «Афіша». 2002. – 184 с.

2. Stewart WC, Scasta JD, Taylor JB, Murphy TW, Julian AAM. Invited Review: Mineral nutrition considerations for extensive sheep production systems. *Applied Animal Science*. 2021;37 (3): 256–72.

3. Сологуб, Л. І. Йод в організмі тварин і людини (Біохімічні аспекти). *Біологія тварин*. – 2005. – 7 (1-2), с. 31-50.

4. Robin W Warne. The Micro and Macro of Nutrients across Biological Scales. *Integrative and Comparative Biology*. 2014; 54(5): 864-72.

5. Sunday A Adedokun, Opevemi C Olojede. Optimizing Gastrointestinal Integrity in Poultry: The Role of Nutrients and Feed Additives. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019; 5(348): 1–11.

6. Zduniak P, Surmacki A, Erciyas K, Yavuz, Chudzińska M, Barańkiewicz D. Are there different requirements for trace elements in eumelanin- and pheomelanin-based color production? A case study of two passerine species. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2019; 175: 96–101.

7. Rao KR, Padmavathi IJ, Raghunath M. Maternal micronutrient restriction programs the body adiposity, adipocyte function and lipid metabolism in offspring: a review. *Rev Endocr Metab*. 2012; 13 (2): 103–8.

8. Стапай П.В., Огородник Н.З., Бальковський В.В., Павкович С. Б. Фізіолого-біохімічні основи формування вовнової продуктивності овець. – *Новий світ-2000*. – 2021. – 150 с.

9. ARC (Agricultural Research Council). The nutrient requirements of ruminant livestock. The Gresham Press, London. 1980.

10. National Research Council. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. The National Academies Press, Washington. DC. 2007.

11. SCA (Standing Committee on Agriculture). Feeding Standards for Australian Livestock: Ruminants. 1990.

12. Науково-практичні основи нормованої годівлі овець та кормовиробництва. – Монографія за ред. Іовенко В.М. – Херсон. – 2022. – ОЛДІ-ПЛЮС. – 700 с.

13. Masters D G. Practical implications of mineral and vitamin imbalance in grazing sheep. *Animal Production Science*. 2018; 58 (8): 1438-50.

14. Кононенко В. К. Мінеральна поживність кормів та балансування раціонів високопродуктивних корів у Київському Поліссі // *Матеріали*

міжнар. науково–практичної конференції, «Актуальні проблеми годівлі с/г тварин і технології кормів». – Київ. – 2003. – С. 20–22.

15. Khan MJ, Abas A, Ayaz M. Factors affecting wool quality and quantity in sheep. *African Journal of Biotechnology*. 2012; 11 (73): 13 761–6.

16. Стапай П. В., Дружина О. С., Ткачук В. М. та ін. Вплив амінокислот лізину, метіоніну та Сульфур у на м'ясу і вовнову продуктивність молодняка овець // Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. – Збірник наукових праць. – Харків. – 2014. – Вип. 28. – Ч.2. – с.105-108.

17. Ткачук В. М., Стапай П. В., Кирилів Я. І. Економічна оцінка підвищених рівнів мінеральних елементів та фільтроперліту у годівлі овець // Науковий вісник Львівського Національного Університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. – Серія «Сільськогосподарські науки». – Львів. – 2014. – Т.16. – № 3 (60). – Ч. 3. – с.193-198.

18. Дружина О.С., Гавриляк В.В., Стапай П.В. та ін. Показники білкового обміну у крові баранчиків за умов використання у їх раціонах амінокислот лізину, метіоніну та Сульфур // Вісник Сумського національного аграрного університету. – Серія «Тваринництво». – 2014. – Вип. 2 /1 (24). – с.117-120.

19. Кліценко Г.Т., Кулик М.Ф., Косенко М.В., Лісовенко В.Т. Мінеральне живлення тварин. К.: Світ. – 2001. – 575 с

20. Ібатулін І.І, Мельничук Д.О., Богданов Г.О. та ін. Годівля сільськогосподарських тварин. – Вінниця: Нова книга. – 2007. – 616 с.

21. Ібатулін І.І., Башенко М.І., Жукорський О.М. та ін. Довідник з повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин. – Київ: Аграрна наука. – 2016. – 336.

22. Седіло Г. М., Макар І. А., Стапай П. В. та ін. Використання солемінеральних сумішей в годівлі овець у господарствах різних регіонів України. – Львів, 2003. – 16 с.

23. Стапай П. В., Макар І. А., Гавриляк В. В. Фізіолого-біохімічні основи живлення овець // Львів: Лео-Бланк, – 2007. — 98 с.

24. Свистула М. Б, Ефремов Д. В., Горб С. В. та ін. Науково-практичні основи нормованої годівлі овець та кормовиробництва. – Херсон: ОЛДІ – Плюс, 2022. – 300с.

25. Pikhtirova A, Ivchenko V. The elemental composition and microstructure features of sheeps wool in condition of insufficient mineral nutrition. *Materials of International scientific and practical conference «Innovation approaches to the development of science» Dublin, Ireland. Veterinary Science*. 2018; 2 (5): 26–9.

26. John A Rippon, John R Christoe, Ronald J Denning, David J Evans, Mickey G Huson et al. *Wool: Structure, Properties, and Processing*. 2016.

27. Jin YQ, Ding X G, Diao SC, Yu SC, Zhao JX, Zhang JX. Net micromineral requirements for maintenance and growth of ewe lambs at the latter fattening period. *Asian-Australas. J. Anim. Sci*. 2020; 33: 1421–9.

28. Rippon JA et al. Wool, in Encyclopedia of Polymer Science and Technology, New York : Interscience Publishers. 2003.

29. Fan Q, Wang Z, Chang S, Peng Z, Wanapat M, Bowatte S, Hou F. Relationship of mineral elements in sheep grazing in the highland agroecosystem. Australasian journal of Animal Sciences. 2020; 33 (1): 44–52.

30. Langbein L, Schweizer J. Keratins of the human hair follicle. International Review of Cytology. 2005;243: 1–78.

31. McManus CM, Faria DA, Lucci CM, Louvandini H, Pereira SA, Paiva SR. Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? Theriogenology. 2020; 155: 157–67.

32. Hintz HF. Hair analysis as an indicator of nutritional status. Journal of Equine Veterinary Science. 2001; 21(4): A1.

33. Pereira FS, Carmo ABR, Costa MRGF, Medeiros AN, Oliveira RL, Pinto AP, Carneiro MSS, Lima FWR, Campos ACN, Gomes SP. Mineral requirements of hair sheep in tropical climates. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 2016; 100: 1090–6.

34. Sefdeen SM. Effect of dietary iron in presence of sulphur on some liver mineral concentrations and performance of growing lambs. Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 2021; 52 (1): 1–9.

35. Grace ND, Knowles SO, Rounce DM, West DM, Lee J. Effect of increasing pasture copper concentrations on the copper status of grazing Romney sheep. New Zeal. J. Agric. Res. 2012; 41:377–86.

36. Myros VV, Fominova AS. Sheep and goat breeding: study aid. «Kharkiv», Kharkiv. 2009.

37. Годівля сільськогосподарських тварин. І.І. Ібатулін, Д.О. Мельничук, Г.О. Богданов та ін. Вінниця : Нова книга, 2007. 616 с.

38. Довідник з повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин / за наук. ред. І.І. Ібатуліна, О.М. Жукорського. Київ : Аграр. наука, 2016. 336 с.

39. Седіло Г.М. Роль мінеральних речовин у процесах вовноутворення : автореф. дис. д-ра с.-г. наук : 03.00.04. Львів, 2004. 25 с.

40. Cannas A, Tedeschi LO, Atzori AS, Fox DG. The Small Ruminant Nutrition System: development and evaluation of a goat sub-model. Ital. J. Anim. Sci. 2007; 6: 609–11.

41. Гавриляк В. В., Макар І.А. Видові особливості фізико-хімічних показників волоса // Наукові записки Тернопільського Національного Педагогічного Університету ім. В. Гнатюка / Серія: Біологія. – 2011. – № 1 (46). – С. 82-86.

42. Приліпко Т.М. Селен і сірка в раціонах вівцематок асканійської тонкорунної породи. Тваринництво України. 2001. № 2. С. 30–31.

43. Dove H, Masters DS, Thompson N. New perspectives on the mineral nutrition of livestock grazing cereal and canola crops. Animal Production Science. 2016; 56: 1560.

44. Song C, Shen X. Effect of environmental zinc deficiency on antioxidant system function in Wumeng semi-fine wool sheep. Biol. Trace Elem. Res. 2020; 195: 110–6.

45. Huo B, Wu T, Song C, Shen X. Studies of selenium deficiency in the Wumeng semi-fine wool sheep. *Biol.Trace Elem. Res.* 2020; 194: 152–8.
46. Дзень Є.О., Лучка І.В., Талоха Н.І., Салига Ю.Т. Вміст Купруму у ґрунтах, воді та рослинних кормах раціону ВРХ у різних біогеохімічних провінціях Західної України. // *Біологія тварин.* – 2012. – Т.14. – № 1-2. – с.93-100.
47. Teixeira IAMDA, Resende KTD, Silva AGS, Härter CJ, Sader APDO. Mineral requirements for growth of wool and hair lambs. *Rev. Bras. Zootec.* 2013; 42: 347–53.
48. Oddy VH, Sainz ARD. Nutrition for sheep meat production. In: Freer, M.; Dove, H. (Eds.) *Sheep nutrition* Wallingford, UK: CABI Publishing. 2002: 237-62.
49. SCA Feeding Standarts for Australian Lrestoc (SCA). Ruminants Standing Committee on Adriculture (CSIRO; Melbourne). 1990.
50. Sousa DL, Marcondes MI, Silva LP, Wellington FR, Lima Herbster CJ, Souza JG, Pacheco JPR, Bezerra LR, Oliveira RL, Pereira ES. Macromineral and trace element requirements for Santa Ines sheep. *Sci Rep.* 2021; 11: 12329.
51. Szigeti E, Katàì J, Komlósi I, Olàh J, Szabó C. Newly Grown Wool Mineral Content Response to Dietary Supplementation in Sheep. *Animals.* 2020; 10(8): 1390.
52. Pedernera M, Mereu A, Villalba JJ. Preference for inorganic sources of magnesium and phosphorus in sheep as a function of need. *Journal of animal science.* 2021; 99(1): skab010.
53. Saha SK, Pathak NN. *Mineral Nutrition. Fundamentals of Animal Nutrition.* Springer, Singapore. 2021: 113–31.
54. Hynd PI, Masters DG. Nutrition and wool growth. *Sheep Nutrition.* 2002: 165–88.
55. López-Carlos MA, Ramírez RG, Aguilera-Soto I et al. Size and shape analyses in hair sheep ram lambs and its relationships with growth performance. *Livestock Science.* 2010; 31: 203–11.
56. Eichhorn S, Hearle JWS, Jaffe M, Kikutani T. *Handbook of textile fibre structure. Vol. 2: natural, regenerated, inorganic, and specialist fibres.* CRC Press. 2009: 532.
57. Стапай П.В., Стахів Н.П., Смолянінова О.О., Грабовська О.С., Тютюнник О.С. Сульфурвмісні сполуки вовни і їх роль у процесах вовноутворення та формуванню фізико-хімічних властивостей волокон // *Наукові праці національного університету харчових технологій.* – Київ. – «НУХТ». – 2021. – Т. 27. – № 5. – с. 21-32.
58. Стапай П.В., Стахів Н.П., Гавриляк В.В., Смолянінова О.О., Тютюнник О.С. Ліпідне живлення овець // *Біологія тварин.* – 2020. – Том 22 (2). – с.3-7.
59. Silva AMA, Silva AG. Tindade IACM et al. Net and metabolizable protein requirements for body weight gain in hair and wool lambs. *Small Ruminant Research.* 2007; 67: 192–8.

60. Седіло М.Г, Макар І.А., Гавриляк В.В., Гуменюк В.В. Метаболічна і продуктивна дія сірки в організмі овець. – Львів. – «ПАІС». – 2009. – 148 с.

61. Zahn H. Wool chemistry and processi. Abstracts of Proc. 9<sup>th</sup> Int. WoolTextileRes. Conf (Biella). 1995: 1–16.

62. Lee SH, Chang SN. Epidermal lipid and skin barrier. *JournalAerospace Environ. Med.* 1992; 2: 15–24.

63. Institut National de la Recherche Agronomique. INRA Feeding System for Ruminants. Wageningen Academic Publishers. 2018.

64. Hearing VJ, Kobayaski T, Urabe K, Pottert SB, Kameyama K. The characteristics of biological melanins are influenced at multiple points in the melanogenic pathway. *Melanin: Its Role in Human Photoprotection.* Valdemar, Overland Park. 1995: 117–24.

65. Ito S. Advances in chemical analisis of melanins. The pigmentary system. Oxford Univ. Press. 1998: 439–50.

66. Ito S, Wakamatsu K, Ozeki H. Chemical analysis of melanins and its application to the study of the regulation, of melanogenesis. *Pigment Cell Res.* 2000; 8(13): 103–9.

67. Katritzky AR, Akhmedov N, Denisenko SN, Denisko OV. HNMR Spectroscopic characterization of solutions of sepia melanin, sepia melanin free and human hais melanin. *Pigment Cell Res.* 2002; 15: 93–7.

68. Solohub LI, Antonyak HL, Stefanyshyn OM. The role of copper in the animal organism. *The Animal Biology.* 2004; 6 (1–2): 64–76.

69. Sousa IKF, Minervino HAH, Sousa RS, Chaves DF, Soares HS, Barros IO, Araújo CASC, Barrêto RAJ, Ortolani EL. Copper deficiency in sheep with high liver iron accumulation. *Vet. Med. Int. id 207950.* 2012: 4.

70. Sefdeen S. Effect of dietary iron on copper metabolism in sheep. PhD. Anim. Sci., Harper Adams Univ. 2017: 193.

71. Wang F, Li SL, Xin YJ, Wang YJ, Cao ZJ, Guo FC, Wang YM. Effects of methionine hydroxy copper supplementation on lactation performance, nutrient digestibility, and blood biochemical parameters in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 2012; 93: 5813–20.

72. Suttle NF. Mineral Nutrition of Livestock, 4th. CAB International: Oxfordshire, UK. 2010.

73. Moyano JC, Marini PR, Fischman ML. Biological Efficiency in Hair Sheep Reared in a Sustainable Farming System in the Ecuadorian Amazon Region. *Dairy and Vet Sci J.* 2019; 11(4): JDVS.MS.ID.555820.

74. McDowell LR. Minerals in Animal and Human Nutrition, second ed. Elsevier Science. 2003: 644.

75. Guerra MH, Cabrera MC, Fernández D Abella, Saadoun A, Burton A. Se and I status in pregnant ewes from a pastoral system and the effect of supplementation with Se and I or only Se on wool quality of lambs. 2019; 5 (9): e02486.

76. Kruze-Jarres JD. Pathobiochemistry of Zink, Metabolism and Diagnostic Principles in Zink Deficiency. *J. Lab.Med.* 1999; 23 (3): 141–55.

77. Chunjie S, Xiaoyun S. Effects of Environmental Zinc Deficiency on Antioxidant System Function in Wumenng Semi-fine Wool Sheep. *Biological Trace Element Research*. 2020; 195: 110–6.

78. Mezes M. Gazdasagi allotok mikroelem ellatottsaga es egyes mikroelemek szerepe a termelesben. *Agro.Naplo*. 2008; 12: 95–6.

79. Mc Goven FM, Magee DA, Browne JA, MacHugh D E, Boland T M. Iodine supplementation of the pregnant dam alters intestinal gene expression and immunoglobulin uptake in the newborn lamb. *Animal*. 2016; 10: 598–606.

80. Ivancic JJr, Weiss WP. Effect of dietary sulfur and selenium concentrations on selenium balance of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci*. 2001; 84: 225–32.

**Information about the authors:**

**Stapay Petro Vasylovych,**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,  
Head of the S. Gzhytsky Laboratory of Metabolism  
Institute of Animal Biology of the National Academy  
of Agrarian Sciences of Ukraine  
38, Vasylia Stusa str., Lviv, 79034, Ukraine

**Stakhiv Nadiia Petrivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Researcher of the S. Gzhytsky Laboratory of Metabolism  
Institute of Animal Biology of the National Academy of Agrarian Sciences  
of Ukraine  
38, Vasylia Stusa str., Lviv, 79034, Ukraine

**Salyha Yuriy Tarasovych,**

Doctor of Biological Sciences,  
Director  
Institute of Animal Biology of the National Academy of Agrarian Sciences  
of Ukraine  
38, Vasylia Stusa str, Lviv, 79034, Ukraine

## МОЛОЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ КОРІВ ПОДІЛЬСЬКОГО ЗАВОДСЬКОГО ТИПУ УКРАЇНСЬКОЇ ЧОРНО-РЯБОЇ МОЛОЧНОЇ ПОРОДИ

Шуплик В. В., Щербатюк Н. В.

### ВСТУП

Починаючи з кінця ХХ століття і по теперішній час в Україні швидкими темпами відбувається створення і вдосконалення порід сільськогосподарських тварин. Однією із перших створено українську чорно-рябу молочну породу, яка в сучасних умовах займає провідне місце у виробництві продукції молочного скотарства. Проте люба порода вимагає постійного вдосконалення і розвитку власної структури покращення продуктивних показників і якості продукції, щоб конкурувати з іншими породами.

Тварини української чорно-рябої худоби – найкращі за молочною продуктивністю серед інших порід України, адаптуються до різних кліматичних умов, вирізняються добрим розвитком морфологічних ознак вимені, тому найкраще пристосовані до технології машинного доїння. Молочна продуктивність у кращих племінних стадах становить 6000-8000 кг молока жирністю 3,6-3,8%. У породі є чимало тварин з надоем понад 10000 кг молока.

Тваринам даної породи притаманно: міцний імунітет, вироблений століттями селекції; швидке звикання до різних кліматичних умов; середня скоростиглість разом з швидким нарощуванням м'язів при збалансованій годівлі і раціонах з мінімумом концентратів; гарна якість продукції; висока жирність молока і нежирне м'ясо.

### 1. Виникнення передумов проблеми та формулювання проблеми

Для процвітання і затребуваності у виробників порода повинна постійно розвиватись у напрямку збільшення продуктивності. Такий розвиток забезпечує багато елементів, одним із яких є відповідна кількість високопродуктивних ліній.

Разом із тим одні і ті лінії, в різних умовах навколишнього середовища по різному проявляють свої властивості<sup>1</sup>. Вивченню питання молочної продуктивності корів різних ліній, української чорно-

---

<sup>1</sup> Федорович С. І. Західний внутрішньопородний тип української чорнорябої молочної породи: господарсько-біологічні та селекційно-генетичні особливості / С.І. Федорович, Й.З. Сірацький. – К. : Науковий світ. – 2004. – 385 с. ISBN966-675-304-9

рябої молочної породи, приділяють багато уваги Когут М.І.<sup>2</sup>, Музика Л.І., Кос В.Ф., Жмур А.Й.<sup>3</sup>, Федорович, Є. І.<sup>4</sup>

Із стрімким розвитком технологій виробництва молока на промисловій основі питання вдосконалення тварин до вимог даних технологій є дуже актуальним і ставить перед селекціонерами відповідні завдання. В даний час перед вченими стоять наступні завдання: ліквідувати основні відмінності між тваринами різних типів; вивести більших і рослих представників породи; поліпшити показники надоїв; збільшити показники жирності та вміст білка в молоці.

Продуктивність корів різних ліній вивчалась в ТОВ «Козацька долина 2006», племзавод із розведення української чорно-рябої молочної породи, Кам'янець-Подільського району Хмельницької області.

## **2. Молочна продуктивність корів різних ліній**

Молоко – незамінний продукт високої біологічної цінності, що супроводжує людину на протязі всього життя. Традиційно в Україні люди споживають молоко одержане від корів та продукти його переробки.

Основною господарсько корисною ознакою молочної худоби є молочна продуктивність, що характеризується наступними показниками: удій за лактацію, жирність, молочний жир. Крім того, для розуміння поняття молочна продуктивність, важливими є показники: тривалість лактації, надій молока базисної жирності, коефіцієнт молочності.

Для проведення селекційної роботи в стаді важливим показником є продуктивність корів за першу лактацію.

В таблиці 1 приведено дані по продуктивності корів за першу закінчену лактацію в розрізі ліній.

---

<sup>2</sup> Особливості розведення худоби західного внутрішньопородного типу української чорно-рябої молочної породи за різних варіантів схрещування /М.І. Когут / Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2020. Вип. 68 (2). С. 174-184.

<sup>3</sup> Продуктивність та племінні якості корів української чорно-рябої молочної породи залежно від їх живої маси при народженні / Л.І. Музика, В.Ф. Кос, А.Й. Жмур // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. Том 12 № 2(44) Частина 3, 2010. С. 140-143.

<sup>4</sup> Федорович, Є. І. Селекційно-генетичні та біологічні особливості тварин західного внутрішньопородного типу української чорно-рябої молочної породи : автореф. дис. ... доктора с.-г. наук. – К., 2004. – 38 с.



Таблиця 1

**Продуктивність корів стада за першу лактацію  
залежно від лінії тварин**

Показники			Надій молока за лактацію, кг	Вміст жиру в молоці,%	Кількість молочног о жиру, кг	Триваліс ть лактації, днів	Надій молока базисної жирності, кг	
Лінії	Бутмейке 1450228	n=158	M±m	4715,5± 108,59	3,82± 0,02	180,1± 4,21	309± 1,04	5298,0± 123,80
			Cv,%	24,00	5,29	24,37	2,82	24,37
	Валіанта 1650414	n=197	M±m	5382,8 ± 106,75	3,84± 0,02	206,6± 4,18	310± 1,13	6079,4± 123,0
			Cv,%	20,23	4,06	20,62	3,05	20,62
	Віс Бек Айдіала	n=28	M±m	4226,0± 106,17	3,87± 0,02	163,5± 4,24	310± 1,25	4810,1± 124,78
			Cv,%	21,03	4,78	21,71	3,38	21,71
	Астронавта 1458744	n=17	M±m	4336,7± 83,22	3,82± 0,03	165,6± 3,29	308± 1,31	4872,4,0± 96,63
			Cv,%	17,99	5,83	18,63	3,56	18,63
	Старбака 352790	n=89	M±m	5468,6± 116,59	3,80± 0,02	207,8± 4,27	308± 1,45	6111,9± 128,54
			Cv,%	23,82	4,42	23,00	3,92	23,00
	Чіфа 522027	n=147	M±m	5310,0± 86,76	3,83± 0,01	203,3± 3,44	304± 1,62	5981,6± 101,29
			Cv,%	20,23	2,47	20,97	4,46	20,97
	Елевей шна	n=138	M±m	5873,8± 105,53	3,78± 0,01	222,0± 4,06	309± 1,62	6530,2± 119,30
			Cv	20,91	2,90	21,27	4,39	21,27

Із даних таблиці 1 видно, що найвищий надій за першу лактацію мають первістки лінії Елевейшин 1491007 із показником 5873,8 кг, що на 405,3 кг, 491,0, 563,8 більше ніж у первісток ліній Старбака 352790, Валіанта 1650414, Чіфа 522027 відповідно, перевага над лініями Бутмейке 1450228, Астронавта 1458744, Віс Бек Айдіала 939122 склала відповідно 1158,3 кг, 1537,1, 1647,8. Потрібно відмітити, що різниця за надоєм між лінією Елевейшина 1491007 і іншими лініями була достовірною проте із різним показником. Так достовірність між лінією

Елевейшина 1491007 і Валіанта 1650414 склала  $P=0,01$  а з іншими лініями  $P=0,001$ . Також достовірною була різниця між лініями Старбака 352790, Валіанта 1650414, Чіфа 522027 із лініями Бутмейке 1450228, Астронавта 1458744, Віс Бек Айдіала 939122 із показником  $P=0,001$ .

За показником вмісту жиру в молоці перевагу мали первістки лінії Віс Бек Айдіала 939122 із показником 3,87%. Різниця між лініями складала від 0,9 до 0,3%. Проте достовірною різниця була лиш між первістками лінії Віс Бек Айдіала 939122 і первістками лінії Старбака 352790 при  $P=0,05$ .

Корови первістки за показником кількість молочного жиру значно випереджають стандарт породи першого класу. Лише первістки ліній Віс Бек Айдіала 939122 і Астронавта 1458744 мали даний показник на рівні 163,5 – 165,6 кг, Бутмейке 1450228 180,1 кг, а всі інші від 203,3 до 222,0 кг. За даним показником достовірна різниця встановлена між первістками ліній Елевейшна 1491007 та всіма іншими при наступних значеннях: лінії Валіанта 1650414  $P=0,01$ , Старбака 352790  $P=0,05$ , а із іншими  $P=0,001$ . Також достовірна різниця за даним показником встановлена між первістками лінії Старбака 352790 і первістками ліній Бутмейке 145228, Віс Бек Айдіала 939122, Астронавта 1458744 при  $P=0,001$ ; та лінії Валіанта 1650414 і первістками ліній Бутмейке 145228, Віс Бек Айдіала 939122, Астронавта 1458744 при  $P=0,001$ .

Одним із показників, що має дуже великий вплив на молочну продуктивність є тривалість лактації. Чим довша лактація тим більший надій молока за лактацію. Аналізуючи тривалість лактації у підконтрольного поголів'я корів було встановлено, що у корів стада даний показник, в середньому, перебував в рамках 304 – 310 днів. Найбільш тривалішою лактація була у корів лінії Валіанта 1650414 і Віс Бек Айдіала 939122 із показником 310 днів, а най коротшою у первісток лінії Чіфа 522027 – 304 дні.

Порівняння даного показника між первістками лінії Валіанна 1650414 і Віс Бек Айдіала 939122 із первістками лінії Чіфа 522027 різниця склала 6 днів при достовірній різниці із лінією Валіанна 1650414 при  $P=0,001$ , а із лінією Віс Бек Айдіала 939122  $P=0,01$ . Також встановлена достовірна різниця за даним показником між лініями Бутмейке 1450228, Елевейшена 1491007 та лінією Чіфа 522027 при  $P=0,01$  і  $P=0,05$  відповідно. Достовірна різниця також була встановлена між лініями Астронавта 1458744, Старбака 352790 і лінією Чіфа 522027 при  $P=0,05$ .

Най більшу кількість молока базисної жирності було одержано від корів первісток лінії Елевейшена 1491007 із показником 6530,2 кг, що на 548,6 кг більше ніж у лінії Чіфа 522027 при  $P=0,001$ ; на 418,3 кг ніж у лінії Старбака 352790 при  $P=0,001$ ; на 1657,8 кг ніж у лінії Астронавта 1458744 при  $P=0,001$ ; на 1720,1 кг ніж у лінії Віс Бек Айдіала 939122 при  $P=0,001$ ; на 450,8 кг ніж у лінії Валіанна 1650414 при  $P=0,01$ ; на 1232,2 кг ніж у лінії Бутмейке 1450228 при  $P=0,001$ .

В таблиці 2 приведено дані по продуктивності за третю лактацію. Із даних таблиці 2 найвищу продуктивність за надоєм показали первістки лінії Елевейшена 1491007 із показником 6939,7 кг. Вони переважали корів лінії Бутмейке 1450228 на 272,7 кг різниця не достовірна, лінії Валіанта 1650414 на 1078,4 кг при  $P=0,001$ , лінії Чіфа 522027 на 1395,4 при  $P=0,001$  і лінії Старбака 352790 на 1587,9 кг при  $P=0,001$ .

За показником вмісту жиру в молоці найвище значення одержано від корів лінії Бутмейке 1450228 3,89%, що на 0,04% менше ніж у корів лінії Чіфа 522027 і Елевейшена 1491007 при не достовірній різниці і на 0,05% корів лінії Валіанта 1650414 і Старбака 352790 також при недостовірній різниці.

Молочного жиру найбільше одержано від корів лінії Елевейшена 1491007 із показником 267,2 кг, що на 7,9 кг більше ніж від корів лінії Бутмейке 1450228 при недостовірній різниці, 42,1 кг від лінії Валіанта 1650414 при  $P=0,001$ .

Таблиця 2

**Продуктивність корів стада за третю лактацію  
залежно від лінії 53,7 кг від Чіфа 522027 при  $P=0,001$ , 61,7 кг  
від лінії Старбака 352790 при  $P=0,001$**

Показники			Надій молока за лактацію, кг	Вміст жиру в молоці,%	Кількість молочног о жиру, кг	Триваліс ть лактації, днів	Надій молока базисної жирності, кг	
Лінії	Бутмейке 1450228	n=109	M±m	6667,0± 125,21	3,89± 0,02	259,3± 5,10	309± 0,97	7627,8± 149,88
			Cv,%	22,72	3,43	23,76	2,62	23,76
	Валіанта 1650414	n=130	M±m	5861,3± 112,85	3,84± 0,02	225,1± 4,67	308± 0,80	6619,8± 137,49
			Cv,%	21,54	5,14	23,19	2,18	23,19
	Старбака 352790	n=67	M±m	5351,8± 100,11	3,84± 0,03	205,5± 4,33	306± 0,73	6044,4± 127,37
			Cv,%	19,06	5,68	21,40	1,99	21,40
	Чіфа 522027	n=87	M±m	5544,3± 131,3	3,85± 0,02	213,5± 5,62	309± 0,82	6278,1± 162,3
			Cv,%	20,78	4,78	22,78	2,35	24,23
	Елевейшена 1491007	n=72	M±m	6939,7± 121,05	3,85± 0,02	267,2± 4,74	309± 0,94	7858,2± 139,38
			Cv,%	22,08	4,14	22,46	2,55	22,46

Середня тривалість лактації у підконтрольного поголів'я корів різних ліній перебувала в межах 306-309 днів. У лінії Бутмейке 1450228, Чіфа 522027 і Елевейшена 1491007 тривалість лактації склала 309 днів у Валіанта 1650414 308 днів і Старбака 352790 306 днів. Достовірна різниця за даним показником була встановлена між лініями Бутмейке 1450228, Чіфа 522027 і Елевейшена 1491007 і лінією Старбака 352790 при  $P=0,05$ .

За надоєм молока базисної жирності найвищий показник одержано від корів лінії Елевейшена 1491007 із показником 7858,2 кг, що переважала показник корів лінії Бутмейке 1450228 на 230,4 кг при не достовірній різниці, лінії Валіанта 1650414 на 1238,4 кг при  $P=0,001$ , лінії Чіфа 522027 на 1580,1 при  $P=0,001$ , лінії Старбака 352790 на 1813,8 кг при  $P=0,001$ .

На основі проведеного вивчення молочної продуктивності корів різних ліній було встановлено, що за показниками надою молока за лактацію, кількістю молочного жиру, тривалістю лактації та надою молока базисної жирності найбільш перспективнішими для використання в даному племзаводі є наступні лінії: Елевейшина 1491007, Чіфа 522027, Старбака 352790, Валіанта 1650414. Крім того за показником вмісту жиру в молоці найбільш перспективними є лінії Валіанта 1650414, Чіфа 522027.

Нашими дослідженнями встановлено, що корови досліджуваних ліній в умовах традиційної технології, в основі якої – стійлово-вигульна система та прив'язне утримання тварин, високий рівень годівлі, доїння корів у молокопровід, характеризувалися досить високими показниками надою як за першу, так і подальші лактації.

### **3. Жива маса корів різних ліній**

Процес формування стада великої рогатої худоби має здійснюватися безперервно, впродовж багатьох поколінь, ґрунтуючись на вивченні результатів попередньої селекції. Найбільш об'єктивним показником загального розвитку тварини є її жива маса. Корови з більшою живою масою здатні з'їдати значну кількість корму і переробляти його в молоко, але зростання надоїв залежно від маси тварин спостерігається доти, поки зберігатиметься молочний тип худоби. У молочному скотарстві бажано, щоб надій корови за лактацію перевищував живу масу у 8 – 10 разів.

В таблиці 3 приведено дані живої маси корів первісток в розрізі ліній.

Із даних таблиці 3 видно, що найбільшу живу масу 500 кг мали первістки ліній: Валіанта 1650414 і Астронавта 1458744. За даним показником вони переважали первісток лінії Віс Бек Айдіала 939122 на два кілограми, лінії

Старбака 352790 на вісім кілограм, Чіфа 522027 на дев'ять кілограм, Бутмейке 1450228 на 12 кг і Елевейшина 1491007 на 15 кг.

Достовірна різниця за показником живої маси встановлено між лінією Валіанта 1650414 і лініями: Елевейшен 1491007 при  $P=0,01$ . Також достовірна різниця була між первітками лінії Астронавта 1458744 і Елевейшина 1491007 при  $P=0,05$ .

За показником живої маси первітки ліній Валіанта 1650414, Віс Бек Айдіала 939122, Астронавта 1458744, Старбака 352790, Чіфа 522027 відповідали вимогам стандарту, а Елевейшина 1491007, Бутмейке 1450228 недотягували до стандарту 1,1, 0,5% відповідно.

Таблиця 3

**Показники живої маси корів первісток різних ліній**

Показники			Жива маса, кг	Коефіцієнт молочності	
Лінії	Бутмейке 1450228	n=158	M±m	488± 5,97	966± 26,04
			Cv,%	10,24	24,86
	Валіанта 1650414	n=197	M±m	500± 4,41	1076± 23,92
			Cv,%	7,39	20,01
	Віс Бек Айдіала 939122	n=28	M±m	498± 3,69	848± 26,41
			Cv,%	6,20	22,79
	Астронавта 1458744	n=17	M±m	500± 5,79	867± 23,12
			Cv,%	9,68	22,04
	Старбака 352790	n=89	M±m	492± 3,99	1111± 27,35
			Cv,%	6,79	24,53
	Чіфа 522027	n=147	M±m	491± 3,32	1075± 20,73
			Cv,%	5,66	21,04
	Елевейшна 1491007	n=138	M±m	485± 3,02	1211± 24,34
			Cv,%	5,22	21,03

Для характеристики молочної продуктивності використовують надій корови на 100 кг живої маси, що називається коефіцієнтом молочності. Даний показник опосередковано характеризує відповідність тварини напрямку продуктивності. Для корів молочного напрямку даний показник повинен перебувати від 800 кг і більше.

Найбільший коефіцієнт молочності зафіксовано у корів первісток лінії Елевейшина 1491007 1211 кг, що більше ніж у первісток лінії Старбака 352790 на 100 кг, лінії Валіанта 1650414 на 135 кг, лінії Чіфа 522027 на 136 кг, лінії Бутмейке 1450228 на 245 кг, лінії Астронавта 1458744 на 344 кг, лінії Віс Бек Айдіал 1450228 на 363 кг.

Достовірна різниця за даним показником встановлено між первітками ліній Елевейшина 1491007 і Віс Бек Айдіал 1450228, Астронавта 1458744, Бутмейке 1450228, Чіфа 522027, Валіанта 1650414 при  $P=0,001$ , а лінії Старбака 352790 при  $P=0,01$ .

В таблиці 4 приведено дані по живій масі повновікових корів різних ліній.

Таблиця 4

**Показники живої маси повновікових корів в розрізі ліній**

Показники			Жива маса, кг	Коефіцієнт молочності	
Лінії	Бутмейке 1450228	n=109	M±m	543±4,95	1227±23,37
			Cv, %	7,64	21,39
	Валіанта 1650414	n=130	M±m	549±3,42	1067±25,73
			Cv, %	5,21	22,83
	Старбака 352790	n=69	M±m	549±3,53	975±27,22
			Cv, %	5,38	23,66
	Чіфа 522027	n=87	M±m	545±4,48	1017±22,53
			Cv, %	6,88	20,61
	Елевейшна 1491007	n=72	M±m	550±5,87	1261±24,32
			Cv, %	6,25	22,31

Як видно із даних таблиці 4 повновікові корови всіх ліній не відповідають стандарту живої маси по третій лактації. Найбільшу масу у 550 кг мали тварини лінії Елевейшна 1491007 перевага над коровами інших ліній склала від 11 до 5 кг. Достовірної різниці між лініями за даним показником не встановлено.

За величиною коефіцієнта молочності у корів різних ліній встановлено досить вагоме його значення у всіх тварин. Найвищий показник встановлено у корів лінії Елевейшна 1491007 1261 кг, що на 34 кг більше ніж у корів лінії Бутмейке 1450228, на 194 кг ніж у лінії Валіанта 1650414, на 244 кг ніж у лінії Чіфа 522027, 226 кг ніж у лінії Старбака 352790.

Достовірна різниця за коефіцієнтом молочності встановлена між лінією Елевейшна 1491007 і лінією : Валіанта 1650414, Чіфа 522027, Старбака 352790 при  $P=0,001$ . Також достовірна різниця встановлена між лінією Бутмейке 1450228 і лінією Валіанта 1650414, Старбака 352790, Чіфа 522027 при  $P=0,001$ , між лінією Валіанта 1650414 і лінією Старбака 352790 при  $P=0,05$ .

Аналіз живої маси корів різних ліній в умовах ТОВ «Козацька долина 2006» показав що первістки практично досягають стандарту по породі в той же час як повновікові тварини мають вагу значно меншу від стандарту, що не дозволяє повновіковим коровам повністю проявити власний генетичний потенціал.

За коефіцієнтом молочності корови всіх вікових періодів і ліній показують гарні показники. Так повновікові корови чотирьох ліній мають показник на рівні 1017-1261 кг і лише одна має показник на рівні

975 кг. Це свідчить про високий генетичний потенціал молочної продуктивності у даному стаді.

#### 4. Вплив лінійної належності на рівень молочної продуктивності

В сучасних умовах розвитку молочногo скотарства та значного впливу на нього великомасштабної селекції перед селекціонерами стоїть завдання по розробці заходів по подовженню використання ліній особливо коротких. Також актуальне питання міжлінійних кросів, як прийому одержання явища гетерозису при чистопорідному розведенні.

Провівши дисперсійний аналіз (таблиця 5) ми встановили значний вплив лінії на молочну продуктивність.

Таблиця 5

#### Частка впливу лінії на молочну продуктивність корів, %

Показник	Частка впливу	Показник	Частка впливу
I лактація (n=774)		III лактація (n=467)	
Надій	28,58	Надій	10,68
Вміст жиру в молоці	14,70	Вміст жиру в молоці	12,73
Кількість молочногo жиру	16,11	Кількість молочногo жиру	15,80

Аналіз таблиці 5 показує, що вплив ліній корів на їх надій у корів первісток склав: за надоем 28,58%, вмістом жиру в молоці 14,7%, кількість молочногo жиру 16,11%. В подальшому у повновікових корів вплив ліній незначно зменшується так за третю лактацію він становив: за надоем 10,68%, вмістом жиру в молоці 12,73% і кількістю молочногo жиру 15,80%.

Нами встановлено значний вплив на молочну продуктивність їх батьків.

В таблиці 6 частка впливу батьків на молочну продуктивність дочок, %.

Таблиця 6

#### Частка впливу батьків на молочну продуктивність дочок, %

Показник	Частка впливу	Показник	Частка впливу
I лактація (n=774)		III лактація (n=467)	
Надій	34,22	Надій	12,77
Вміст жиру в молоці	19,00	Вміст жиру в молоці	16,76
Кількість молочногo жиру	34,89	Кількість молочногo жиру	14,53

Частка впливу батьків на молочну продуктивність дочок за першу лактацію був досить значний так на надій він склав 34,22%, на вміст жиру в молоці 19,00%, кількість молочного жиру 34,89%. За показниками третьої лактації вплив зменшився а все ж він досить значний: на надій 12,77%, вміст жиру в молоці 16,76% і на кількість молочного жиру 14,53%.

### 5. Вплив вирощування на подальшу молочну продуктивність

Дослідженнями багатьох вчених доведено, що молочна продуктивність корів в значній мірі залежить від живої маси тварини. Значний вплив на молочну продуктивність первісток та тривалість господарського використання має інтенсивність вирощування, їх вік та жива маса при першому осіменінні та отеленні. Одним із основних факторів ефективної селекції порід є рівень вирощування ремонтного молодняку, який у всі вікові періоди спричиняє достовірний вплив на здоров'я тварин та їх майбутню продуктивність.

В таблиці 7 приведено коефіцієнт кореляції живої маси корів у період вирощування на молочну продуктивність.

Із даних таблиці 7 видно, що взаємозв'язок між живою масою і показниками продуктивності: надій, вміст жиру в молоці, кількість молочного жиру позитивний. В основній своїй масі цей зв'язок слабкий і перебуває від 0,1-0,3, проте у шести місячному віці і надоем за першу лактацію він помітний, аналогічно і в 12 місячному віці і при першому осіменінні.

В таблиці 8 приведено дані по частці впливу живої маси у періоді вирощування на подальші показники продуктивності.

Таблиця 7

### Коефіцієнт кореляції живої маси корів в період вирощування на молочну продуктивність

Вік, місяці	Лактація	Коефіцієнти кореляції живої маси корів з:		
		надоем	вмістом жиру в молоці	кількістю молочного жиру
При народженні	I	0,128*	0,046	0,038
	III	0,124*	0,035	0,012
6	I	0,309***	0,231***	0,202***
	III	0,146*	0,173**	0,160*
12	I	0,335***	0,112	0,233**
	III	0,217**	0,119*	0,111*
18	I	0,216**	0,120*	0,209***
	III	0,176**	0,110*	0,171*
При першому осіменінні	I	0,323***	0,133*	0,113*
	III	0,203**	0,117*	0,074

Примітка. \*P=0,05; \*\*P=0,01; \*\*\*P=0,001



Таблиця 8

**Частка впливу живої маси у періоди вирощування  
на подальші показники продуктивності**

Вік, місяці	Лактація	Частка впливу живої маси корів (%) на:		
		надій	вміст жиру в молоці	кількість молочного жиру
При народженні	I	19,20	8,36	5,69
	III	9,22	8,69	2,22
6	I	11,16	5,21	4,46
	III	30,15	11,20	10,77
12	I	19,54	7,15	4,76
	III	32,84	10,14	8,98
18	I	36,30	13,99	18,28
	III	35,60	15,25	12,08
При першому осіменінні	I	38,89	7,76	15,16
	III	36,82	19,41	14,30

Провівши аналіз впливу живої маси по періодах вирощування на надій, вміст жиру в молоці, кількість молочного жиру було встановлено наступне: найбільший вплив на надій, за першу лактацію, мала жива маса тварин в 12, 18 місяців та при осіменінні (19,54-38,89%). На надій повновікових тварин великий вплив мала маса у 6,12,18 міс та при першому осіменінні (30,15-36,82%).

На вміст жиру в молоці жива маса по періодах вирощування такого значного впливу не мала (5,21-19,41%). Аналогічна ситуація і з кількістю молочного жиру (2,22-18,28%).

Таким чином ми встановили, що взаємозв'язок між живою масою і показниками продуктивності: надій, вміст жиру в молоці, кількість молочного жиру позитивний.

Вплив живої маси на надій молока досить суттєвий починаючи із 12 місячного віку.

### **ВИСНОВКИ**

1. На основі проведеного вивчення молочної продуктивності корів різних ліній було встановлено, що за показниками надою молока за лактацію, кількістю молочного жиру, тривалістю лактації та надою молока базисної жирності найбільш перспективнішими для використання в даному племзаводі є наступні лінії: Елевейщина 1491007, Чіфа 522027, Старбака 352790, Валіанта 1650414. Крім того за показником вмісту жиру в молоці найбільш перспективними є лінії Валіанта 1650414, Чіфа 522027.

2. Нашими дослідженнями встановлено, що корови досліджуваних ліній в умовах традиційної технології, в основі якої – стійлово-вигульна система та прив'язне утримання тварин, високий

рівень годівлі, доїння корів у молокопрвід, характеризувалися досить високими показниками надою як за першу, так і подальші лактації.

3. Аналіз живої маси корів різних ліній в умовах ТОВ «Козацька долина 2006» показав що первістки практично досягають стандарту по породі в той же час як повновікові тварини мають вагу значно меншу від стандарту, що не дозволяє повновіковим коровам повністю проявити власний генетичний потенціал.

4. За коефіцієнтом молочності корови всіх вікових періодів і ліній показують гарні показники. Так повновікові корови чотирьох ліній мають показник на рівні 1017-1261 кг і лише одна має показник на рівні 975 кг. Це свідчить про високий генетичний потенціал молочної продуктивності у даному стаді.

5. Частка впливу батьків на молочну продуктивність дочок за першу лактацію був досить значний так на надій він склав 34,22%, на вміст жиру в молоці 19,00%, кількість молочного жиру 34,89%. За показниками третьої лактації вплив зменшився а все ж він досить значний: на надій 12,77%, вміст жиру в молоці 16,76% і на кількість молочного жиру 14,53%.

6. Ми встановили, що взаємозв'язок між живою масою і показниками продуктивності: надій, вміст жиру в молоці, кількість молочного жиру позитивний.

7. Вплив живої маси на надій молока досить суттєвий починаючи із 12 місячного віку.

## **АНОТАЦІЯ**

В сучасних умовах ринкових відносин в галузі молочного скотарства існує жорстка конкуренція між тваринами молочних порід. Українська чорно-ряба молочна порода в даних умовах постійно змінюється і достойно конкурує з іншими породами. Тваринам даної породи притаманно: міцний імунітет, швидке звикання до різних кліматичних умов; середня скоростиглість разом із швидким нарощуванням м'язів при збалансованій годівлі і раціонах з мінімумом концентратів, висока продуктивність, гарна якість продукції, середня жирність молока і нежирне м'ясо. Лінійне розведення дозволяє постійно вдосконалюватись і показувати надій на рівні 5000-7000 кг молока за лактацію.

Ключові слова: українська чорно-ряба молочна порода, надій, жирність молока, молочний жир, частка впливу.

## **Література**

1. Федорович Є. І., Сірацький Й.З. Західний внутрішньопородний тип української чорнорябої молочної породи: господарсько-біологічні та селекційно-генетичні особливості. К.: Науковий світ. 2004. с. 385 ISBN966-675-304-9

2. Когут М. І. Особливості розведення худоби західного внутрішньопородного типу української чорно-рябої молочної породи за різних варіантів схрещування. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2020. Вип. 68 (2). с. 174-184.

3. Музика Л.І., Кос В.Ф., Жмур А.Й. Продуктивність та племінні якості корів української чорно-рябої молочної породи залежно від їх живої маси при народженні. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. Том 12 № 2(44) Частина 3, 2010. с. 140-143.

4. Федорович, Є. І. Селекційно-генетичні та біологічні особливості тварин західного внутрішньопородного типу української чорно-рябої молочної породи: автореф. дис. доктора с.-г. наук. К., 2004. с. 38

**Information about the authors:**

**Shuplyk Viktor Viktorovych,**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Production Technology of Animal Husbandry  
Products Processing

Higher educational institution «Podillia State University»  
12, Shevchenka str., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region,  
32316, Ukraine

**Shcherbatiuk Natalya Volodymyrivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Associate Professor at the Department of Technology of Production  
and Processing of Animal Husbandry Products

Higher educational institution «Podillia State University»  
12, Shevchenka str., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region,  
32316, Ukraine

# 03

CHAPTER



**Ecology and  
environmental  
protection**

## ОСОБЛИВОСТІ ГЕНЕТИЧНОЇ МІНЛИВОСТІ ЦІННИХ ВИДІВ РИБ

Маріуца А. Е., Нагорнюк Т. А., Глушко Ю. М.

### ВСТУП

Одними з основних чинників, що впливають на формування генетичної структури є фактори навколишнього середовища. Тому з метою встановлення особливостей формування генетичної структури цінних видів риб в екологічних умовах України було використано комплекс молекулярно– генетичних та цитогенетичних методів.

Використання молекулярно-генетичних методів для ідентифікації цінних видів риб на рівні популяцій є досить перспективним і для подальшого їх розвитку необхідна всебічна цільова державна підтримка, яка дасть можливість вирішити проблеми ідентифікації на молекулярному рівні.<sup>1</sup>

На даному етапі опрацьовано новий метод аналізу і контролю генетичної структури, оснований на оцінці розподілу алейних варіантів одночасно за групами молекулярно-генетичних маркерів, а також на основі врахування асоціацій між ними. Оцінено відносно інформативність різноманітних засобів маркування особливостей генетичної структури. Показано, що поєднання алейних варіантів за різноманітними типами молекулярно-генетичних маркерів може бути використане як вдова характеристика.

Одним з найбільш ефективних інструментів у дослідженні генетичної структури є метод полімеразно ланцюгової реакції (ПЛР) з використанням міжмікросателітних ДНК маркерів (inter simple sequence repeats, ISSR). Метод може бути використаний для виявлення міжвидової і внутрішньовидової генетичної мінливості, ідентифікації видів, популяцій, а в деяких випадках для індивідуального генотипування.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Третяк О. М., Грициняк І. І., Тарасюк С. І. Використання ДНК-маркерів у дослідженні генетичної структури племінного матеріалу веслоноса (*Polyodon spathula* (Walb.)). *Рибогосподарська наука України*. 2012. № 4. С. 117–120.

<sup>2</sup> Курта Х. М., Малишева О. О., Бабенко В. І., Спиридонов В. Г. Особливості генетичної структури веслоноса (*Polyodon spathula*) Чернігівської популяції. *Біологія тварин*. 2018. Т. 20. № 2. С. 51–57. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bitv\\_2018\\_20\\_2\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bitv_2018_20_2_8).)12,13.

<sup>3</sup> Bielikova Olena, Mariutsa Alla, Mruk Antonina, Tarasjuk Serhii, Romanenko Viktoriia. Genetic structure of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes, Salmonidae) from aquaculture by DNA-markers. *Biosystems Diversity*. 2021. Vol. 29. Issue 1. P. 28–32. S and WoS. <http://doi.org/10.15421/012104>.

Міжмікросателітні ДНК маркери (inter simple sequence repeats, ISSR) можуть бути використані для виявлення міжвидової і внутрішньовидової генетичної мінливості, ідентифікації видів, популяцій, а в деяких випадках для індивідуального генотипування. Виходячи з отриманих результатів описана мінливість генетичної структури за конкретною ділянкою геному і розподіл маркерів у популяції свідчить про суттєвий рівень генетичної мінливості, що є підґрунтям для визначення рівня їх пристосованості в процесі штучного добору у господарствах. Обрані для вивчення поліморфізму локуси ДНК мають різний рівень інформативності, який характеризується кількістю алелів.<sup>3</sup>

Стабільний стан популяції риб значною мірою залежить від їх генетичної структури, проте в природних умовах на гомеостаз риб впливає цілий комплекс абіотичних та біотичних чинників, які індують у них всі три типи мутацій (генні, хромосомні, та геномні). Нажаль універсального методу детекції всіх порушень не існує, проте найбільш оптимальними є цитогенетичні підходи, зокрема мікроядерний тест та аналіз метафазних пластинок. Цитогенетичний контроль стану хромосомного апарату риб, його цілісність, наявність структурних та кількісних порушень є невід'ємною частиною генетичної експертизи племінних ресурсів риб, що в черговий раз обумовлює актуальність впровадження в практику цитогенетичних тестів, спрямованих на визначення характеру впливу екзогенних чинників на геном риб. В зв'язку з цим, з діагностичною і прогностичною метою виникає необхідність у проведенні досліджень, що спрямовані на виявлення геномної і хромосомної нестабільності різного походження.

Запропонований нами комплекс молекулярно-генетичних та цитогенетичних методів дасть можливість здійснювати спрямований вплив на формування генетичної структури цінних видів риб дозволить консолідувати популяції за рівнем гетерозиготності.

### **1. Особливості генетичної структури веслоноса (*Polyodon spathula*) з застосуванням трьох міжмікросателітних локусів (ISSR).**

В умовах ринкової економіки існує необхідність розширення асортименту рибної продукції з впровадженням в аквакультуру найцінніших видів риб. Таким вимогам повною мірою відповідає завезений в нашу країну північноамериканський вид риб, єдиний серед представників ряду осетроподібних планктофаг – веслоніс (*Polyodon*

spathula).<sup>4,5</sup> Даний вид поєднує споживчі та господарські характеристики, він є продуцентом дороговартісної осетрової продукції чорної ікри та делікатесного м'яса, за рахунок чого його культивування у штучних умовах є економічно обґрунтованим.<sup>6,7</sup> Рационального використання ремонтно-маточних стад потребує розширення виробництва продукції веслоноса та проведення селекційних робіт з урахуванням особливостей генетичної структури популяції. Однією з основних причин, яка може вплинути на зниження генетичного різноманіття у штучних популяціях веслоноса, є низька чисельність вихідного племінного матеріалу для формування маточних стад, відсутність генетичного контролю та цілеспрямованої селекції при відтворенні даного виду.<sup>8,9,10</sup>

Тому дослідження популяційно-генетичної структури господарсько-цінних об'єктів аквакультури має важливе значення для контролю за ефективністю селекційних робіт при їх штучному відтворенні.

Метою роботи було визначення особливостей генетичної структури веслоноса (**Polyodon spathula**) на основі інформативності ISSR маркерів.

Нами за допомогою міжмікросателітного ДНК-аналізу вперше отримані дані щодо особливостей генетичної структури веслоноса та загалом ідентифіковано 145 ISSR-PCR маркерів із яких інформативними є 87%.

Число ампліфікованих ISSR-PCR маркерів варіювало в залежності від праймера від 9 ампліконів (праймер (GAG)<sub>6</sub>C та (AGC)<sub>6</sub>G) до 14

---

<sup>4</sup>Третяк О. М., Тарасюк С. І. Аналіз генетичної структури груп веслоноса за окремими генетико-біохімічними системами. *Рибогосподарська наука України*. 2011. № 1. С. 50–57. *spathula*). *Biological Resources and Nature Management*. 2017. Vol. 9. N. 5–6. Available at:<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/9590>.

<sup>5</sup>Mims, S. Aquaculture of Paddlefish in the United States *Aquat. Living Resour.* 2001. V. 14. P. 391–398.

<sup>6</sup>Kurta K., Malysheva O., Grishyn B., Getia A., Shynkarenko L., Spirydonov V. Identification allelic variants of microsatellite DNA paddlefish (*Polyodon spathula*). *Biological Resources and Nature Management*. 2017. Vol. 9. N. 5–6. Available at:<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/9590>.

<sup>7</sup>Sharylo Y., Vdovenko N., Fedorenko M., Gerasymchuk V., Neboga G., Haydamaka L., Hakun I. *Contemporary aquaculture: from theory to practice*. A practical guide. Kyiv, Prostobook. 2016. 149 p.

<sup>8</sup>Pikitch E., Doukakos P., Lauck L., Chakrabarty P., Erickson D.L. Status, trends and management of sturgeon and paddlefish fisheries. *Fish and Fisheries*. 2005. V. 6. P. 233–265. DOI: 10.1111/j.1467-2979.2005.00190.x.

<sup>9</sup>Malysheva O., Spirydonov V., Mosnyagul K., Shynkarenko L., Andreev I. Intraspecific polymorphism of the microsatellite DNA of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii brandt*). *Fishery science of Ukraine*. 2016. N. 4 (38). P. 123–130.

<sup>10</sup>Kaczmarczyk D., Luczynski M., Kolman R. Assemblage of spawning pairs of farmed American paddlefish based on their individual genetic profiles – a new tool in managing of the broodstock's gene pool. *Summary document of Aquaculture Europe*. 2008. P. 36–37.

ампліконів (праймер (AGC)<sub>6</sub>C) (табл. 1). Двома основними параметрами, визначеними для цього, є гетерозиготність (H) і міра інформаційного поліморфізму (PIC), яка виявляє дискримінаційну здатність маркера, фактично залежить від числа відомих алелей і розподілу їх частот тим самим еквівалентна геномній різноманітності. В додаток до них є додаткові показники, за допомогою яких можна також визначити ефективність вибраної системи «праймер – маркер». Індекс інформаційного поліморфізму в наших дослідженнях був в діапазоні від 0,227 (AGC)<sub>6</sub>G до 0,314 (AGC)<sub>6</sub>C, з середнім значенням 0,256 (табл.1). ISSR-маркери демонструють середні значення, для домінантних маркерів  $PIC \leq 0,5$ . Ефективне мультиплексне співвідношення визначають як добуток загального числа поліморфних локусів (на праймер) і долі поліморфних локусів від їх загального числа.<sup>11</sup> Ефективне мультиплексне співвідношення варіювало в межах від 4,0 (AGC)<sub>6</sub>G до 14,0 (AGC)<sub>6</sub>C, що свідчило про найбільшу ефективність «праймер-маркерної системи» з використанням праймера (AGC)<sub>6</sub>C (табл.1). Маркерний індекс (MI) – статистична величина, яка використовується для оцінки сумарної придатності маркерної системи (чим вище значення MI, тим краще для методики).<sup>12</sup>

В нашій роботі найбільше значення даного показника зафіксовано за локусом (AGC)<sub>6</sub>C – 4,4, в той час, як найменше – за локусом (AGC)<sub>6</sub>G – 0,9. Щоб відобразити здатність поєднання «праймер – прийнята методика» встановлюють відмінності між великим числом генотипів, використовують показник роздільна потужність (R<sub>p</sub>).<sup>13</sup>

За нашими дослідженнями роздільна потужність була найменша з використанням праймеру (GAG)<sub>6</sub>C – 7,2, а за праймерами (AGC)<sub>6</sub>G – 10,8 та (AGC)<sub>6</sub>C – 11,0. Найбільший процент поліморфних бендів є за маркером (AGC)<sub>6</sub>C – 100 %, а найменший процент поліморфних бендів за маркером (AGC)<sub>6</sub>G – 66,7%.

Найвищі показники PIC (0,314), EMR (14), MI (4,4), PPB(100,0) та R<sub>p</sub> (11) були зафіксовані за маркером (AGC)<sub>6</sub>C, для встановлення відмінностей серед особин вибірки, що свідчило про найбільшу ефективність даного маркеру (рис.1). За трьома маркерами молекулярна маса ампліфікованих фрагментів була в діапазоні від 125 до 1470 п.н.

---

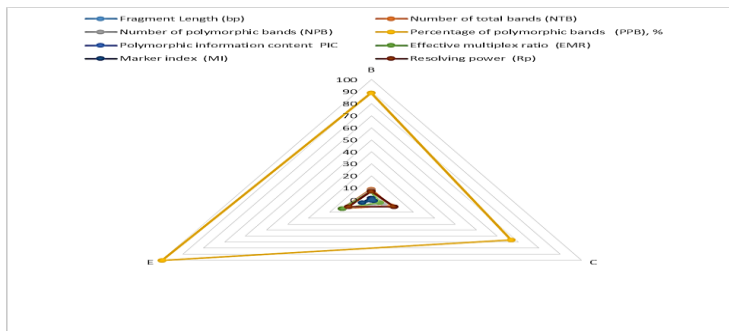
<sup>11</sup> Chesnokov Y. V., Artemyeva A. M. Evaluation of the measure of polymorphism information of genetic diversity. *Agricultural Biology*. 2015. V. 50(5). P. 571–578. DOI:<https://doi.org/10.15389/agrobiology.5.571eng>.

<sup>12</sup> Prevost A., Wilkinson M. J. A new system of comparing PCR primers applied to ISSR fingerprinting of potato cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 1999. V. 98(1). P. 107–112. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001220051046>.

<sup>13</sup> Nagaraju J., Damodar Reddy K., Nagaraja G. M., Sethuraan B. N. Comparison of multilocus RFLPs and PCR-based marker systems for genetic analysis of the silkworm, *Bombyx mori*. *Heredity*. 2001. V. 86. P. 588–597. doi: 10.1046/j.1365-2540.2001.00861.x).



(табл. 1). Найменш вузький діапазон ампліконів був отриманий за локусом (AGC)<sub>6</sub>G і становив від 215 до 1275 п.н. За локусами (GAG)<sub>6</sub>C та (AGC)<sub>6</sub>C спостерігались більш ширші спектри ампліконів які знаходились в межах 215-1265 п.н. та 320-1470 п.н.



**Рис 1. Показники генетичного поліморфізму за ISSR-маркерами**

*Примітка:* NTB – загальна кількість ампліфкованих фрагментів (no. of total bands), NPB – кількість поліморфних фрагментів (no. of polymorph bands), PPB – процент поліморфних бендів (percentage of polymorphic bands), PIC – Індекс інформаційного поліморфізму, EMR – ефективне мультиплексне співвідношення (Effective multiplex ratio), MI – маркерний індекс, R<sub>p</sub> – роздільна потужність.

Таблиця 1

**Частота алелів за ISSR-маркерами у досліджених груп веслоноса**

(GAG) <sub>6</sub> C		(AGC) <sub>6</sub> G		(AGC) <sub>6</sub> C	
Розмір амплікону, п.н.	Частота алельних варіантів (%)	Розмір амплікону, п.н.	Частота алельних варіантів (%)	Розмір амплікону, п.н.	Частота алельних варіантів (%)
1275	2,8	1265	3,7	1470	3,6
1175	2,8	1190	7,4	1405	7,3
1085	27,7	645	9,3	1375	3,6
975	2,8	615	5,6	1055	3,6
745	16,6	540	7,4	1015	5,5
725	11,1	485	11,1	985	7,3
375	8,3	395	18,5	835	7,3
275	22,2	245	18,5	815	9,0
215	5,5	125	18,5	735	3,6
				690	7,3
				655	11,0
				530	3,6
				380	16,3
				320	11,0

Наявність мономорфних бендів встановлено, за маркером (AGC)<sub>6</sub>G виявлено три фрагменти розміром 125, 245 та 395 п.н, за маркером В фрагмент 1085 п.н. Мономорфні бенди в прийдешньому можна застосовувати для міжвидових порівнянь різних видів та встановлення походження зразків.

З високою частотою більше 40 %, зустрічалися бенди, які дали змогу продемонструвати специфіку генетичної структури веслоноса за обраними ISSR-маркерами, а також обрані маркери дають змогу охарактеризувати біорізноманіття та оцінити стан генетичної структури веслоноса.

## 2. Аналіз генетичної структури райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)) за біохімічними системами

Дослідження ферментних систем у риб, як генетичних маркерів, дозволяє спостерігати за аельною мінливістю та гетерогенністю популяції в межах виду. Такі роботи з вивчення біохімічного поліморфізму українських популяцій райдужної форелі є фрагментарними та не повністю дослідженими.<sup>14,15</sup>

З метою збереження та оцінки генетичних ресурсів та з'ясування популяційно-генетичного стану проведено аналіз генетичної структури райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss* W.) з використанням біохімічних маркерів – локусів естерази (EST; 3.1.1.1), карбоангідрази (CA; 4.2.1.1), ізоцитратдегідрогенази (IDH; 1.1.1.41), супероксиддисмутази (SOD; 1.15.1.1).<sup>16</sup>

У райдужної форелі показано особливості розподілу швидко- (F) та повільноігруючих (S) алельних варіантів досліджуваних локусів (рис. 2).

Відхилення частот генотипів ( $g_o$ ) від теоретично очікуваних ( $g_e$ ) оцінювали за критерієм Пірсона. Генотиповий склад локусів біохімічних систем у райдужної форелі представлений надлишком особин з гетерозиготними генотипами FS за локусами SOD ( $g_o=78$ ;  $g_e=57,7$ ;  $\chi^2=14,3$ ,  $P<0,001$ ), EST ( $g_o=74$ ;  $g_e=56$ ;  $\chi^2=11,8$ ,  $P<0,01$ ) та CA ( $g_o=76$ ;  $g_e=57,7$ ;  $\chi^2=11,6$ ,  $P<0,01$ ). За локусом IDH не відмічалось статистично достовірних відмінностей за кількістю виявлених особин з

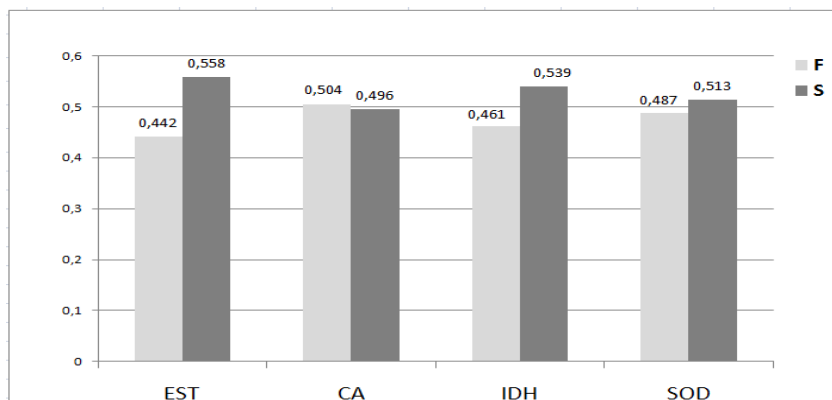
---

<sup>14</sup> Mendrishora P., Nagornjuk T., Tarasjuk S. Peculiarities of the genetic structure of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) groups at the fish farm «Sloboda Banilov», Chernivtsi region. *Рибгосподарська наука України*. 2016. № 2. С. 65–72. DOI: 10.15407/fsu2016.02.065.

<sup>15</sup> Bielikova O. Yu., Tarasjuk S. I., Mruk A. I., Nahorniuk T. A., Buchatskyi L. P. Assessment of genetic structure variability of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1972) of Ukrainian local stocks using polymorphic blood plasma proteins. *Biotechnologia Acta*. 2021. V. 14. N 2. P. 37–46. DOI: 10.15407/biotech14.02.037.

<sup>16</sup> Shaklee J. B., Allendorf F. W., Morizot D. C., Whitt G. S. Gene nomenclature for protein-coding loci in fish. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 1990. V. 119. P. 2–15.

генотипом FS ( $g_0=66$ ) і очікуваними ( $g_e=57,4$ ) гетерозиготними генотипами.



**Рис. 2. Розподіл частоти алелів у райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss* W.)**

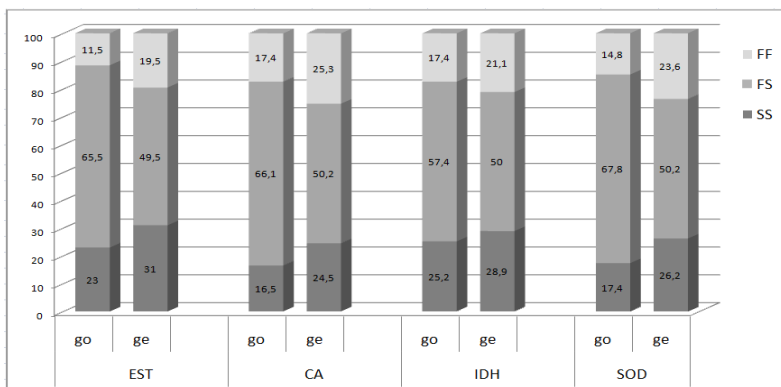
На діаграмі подано розподіл фактичних і очікуваних генотипів (FF, FS, SS) за дослідженими локусами у райдужної форелі у відсотковому співвідношенні (рис. 3).

Для характеристики рівня генетичної мінливості обчислювали фактичну ( $H_0$ ) та очікувану ( $H_e$ ) гетерозиготність (рис. 4).

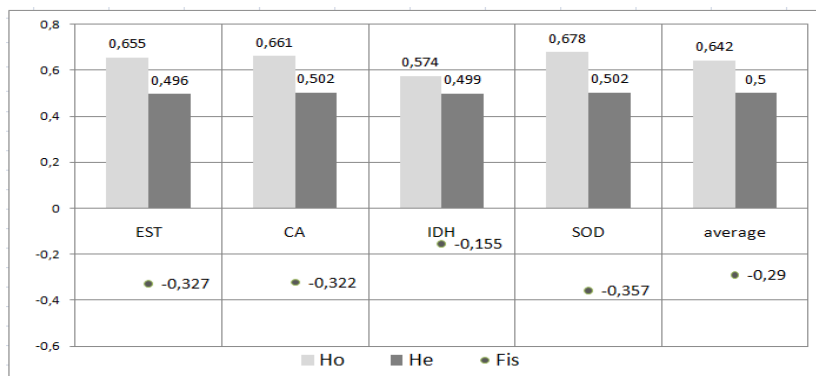
Встановлено високий рівень гетерозиготності за локусом *SOD*  $H_0 = 67,8\%$ , порівняно з очікуваним значенням  $H_e = 50,2\%$ ,  $P < 0,001$ .

Рівень середньої фактичної ( $H_0 = 64,2\%$ ) гетерозиготності переважав очікуваний ( $H_e = 50\%$ ), що дозволяє стверджувати про достатній рівень гетерогенності дослідженої популяції райдужної форелі.

Величина індексу фіксації  $F_{is}$  за всіма локусами становила від  $-0,155$  за локусом IDH до  $-0,357$  за локусом SOD. Середнє значення індексу фіксації ( $F_{is} = -0,29$ ) свідчило про відсутність суттєвого впливу інбридингу на генетичну структуру особин у складі вибірки.



**Рис. 3. Розподіл фактичних (g<sub>o</sub>) і очікуваних (g<sub>e</sub>) генотипів за локусами біохімічних систем у райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss* W.), %**



**Рис. 4. Рівень фактичної (H<sub>o</sub>), очікуваної (H<sub>e</sub>) гетерозиготності та індекс фіксації Райта (Fis) у райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss* W.)**

### 3. Цитогенетична характеристика цінних видів риб

Метою даного напрямку досліджень було провести оцінку та порівняльний аналіз рівня дестабілізації хромосомного апарату локальних стад цінних видів риб України, за використання цитогенетичних підходів.

Мікроядерний тест – цитогенетичний метод, який дозволяє оцінити частоту мікроядер індукованих фізичними, хімічними та біологічними мутагенами. Даний тест – один із найпростіших, надійних та доступних скринінг систем для визначення дії, як кластогенних, так і для

анеугенних агентів<sup>17</sup>. Формування мікроядер може відбуватися в клітинах будь-якої тканини організму здатних до поділу<sup>18</sup>. Розвиток методів біологічного моніторингу з використанням риб дає можливість перевірити ступінь забруднення водойми і дати швидко відповідь про фізіологічний стан риб за низьких концентрацій мутагенів прямої дії у водоймах.

Мікроядра можуть формуватися із фрагментів хромосом, які виникли в результаті структурних порушень хромосом і не були включені в новосформоване ядро під час клітинного поділу та з цілих хромосом і не були включені в дочірнє ядро. Показники обліку мікроядер відображають результати кластогенної дії (порушення структури хромосом) на хромосоми сполук, що вивчаються<sup>19</sup>.

Результати цитологічних досліджень мікроядер показали, що вони, як правило, сформовані з гетерохроматину, на основі чого було висунуто припущення, що немітотичний механізм утворення мікроядер є шляхом видалення з ядра генетично дефектного хроматину. Тобто мікроядерний тест – це метод оцінки дестабілізації генетичного апарату, який включає частину типів хромосомних аберацій та варіанти анеуплоїдії клітин<sup>20,21</sup>.

На сьогоднішній день аналіз визнаний як один з найуспішніших і надійних тестів для визначення впливу генотоксичнів прямої та опосередкованої дії на живі організми<sup>22</sup>.

Кровотворна система риб дуже чутлива до змін стану водного середовища. Переваги мікроядерного тесту для скринінгу мутагенних ефектів водного середовища були добре вивчені на різних системах риб таких як: периферійна кров, зяберні дуги, селезінка, печінка, спинний мозок, тимус<sup>23</sup>. За частотою еритроцитів з мікроядрами у риб виявляються видові, сезонні і локальні відмінності. В літературі

---

<sup>17</sup> Belpaeme K., Cooreman K., Kirsch-Volders M. Development and validation of the *in vivo* alkaline comet assay for detecting genomic damage in marine flatfish. *Mutat Res (Genet Toxicol EM)*. 1998. V. 415. P. 167–184.

<sup>18</sup> Heddle J. A., Cimino M. C., Hayashi M. [et al.]. Micronuclei as an index of cytogenetic damage: past, present, and future. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 1991. V. 18. Iss. 4. P. 277–291.

<sup>19</sup> Migliore L., Barale R., Bulluomini D. Cytogenetic damage induced in human lymphocytes by adriamycin and vincristine a comparison between micronucleus and chromosomal aberration assays. *Toxicol. In vitro*. 1997. № 2. P. 247–254.

<sup>20</sup> Ковальова О. А., Грициняк І. І. Цитогенетичні дослідження риб. *Рибогосподарська наука України*. 2009. № 1. С. 48–53.

<sup>21</sup> Bickham J. W., Sandhu S. S., Hebert P. D. N., Chikhi L., Athwal R. Effects of chemical contaminants on genetic diversity in natural populations: implications for biomonitoring and ecotoxicology. *Mutat. Res*. 2000. V. 463. P. 33–51.

<sup>22</sup> Villarini M., Moretti M., Pasquini R., Scassellati-Sforzolini G., Fatigoni C., Marcarelli M., Monarca S. *In vitro* genotoxic effects of the insecticide deltamethrin in human peripheral blood leukocytes: DNA damage in relation to the induction of sister-chromatid exchanges and micronuclei. *Toxicology*. 1998. V. 130(2-3). P. 129–139. doi: 10.1016/s0300-483x(98)00097-3.

<sup>23</sup> Andrade V. M., Silva J., Silva F. R., Heuser V. D., Dias J. F., Yoneama M. L., Freitas T. R. Fish as bioindicators to assess the effects of pollution in two southern Brazilian rivers using the Comet assay and micronucleus test. *Environ. Mol. Mutagen*. 2004. V. 44(5). P. 459–468.

накопичено достатня кількість даних з оцінки стану різних видів риб в залежності від умов водного середовища за допомогою мікроядерного тесту. Ліміти цього показника у межах 0,1–3,8‰ вказують на задовільну оцінку стабільності хромосомного апарата риб. На сьогоднішній день, мікроядерний тест на рибах широко використовується в країнах світу таких як: Туреччина, Німеччина, Молдова та Польща <sup>24</sup>.

На сьогоднішній день, в Україні активно розвивається форелівництво, основним об'єктом якого є райдужна форель (*Oncorhynchus mykiss*). Для дослідження рівня соматичного мутагенезу виконували мікроядерний тест в клітинах периферійної крові трирічок райдужної форелі господарств ТОВ «Ішхан» та ТОВ «Слобода Банилів» Чернівецької обл. та веслоноса ДПДГ «Нивка» Київської обл.

Для встановлення рівня геномних порушень райдужної форелі було виконано цитогенетичний аналіз даних риб, вирощених в умовах залізобетонних басейнів ТОВ «Ішхан» Чернівецької обл.

Мікроядерний тест та аналіз частот апоптозів виконували в клітинах периферійної крові райдужної форелі. Результати проведених досліджень наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Частота цитогенетичних показників  
у клітинах периферійної крові райдужної форелі**

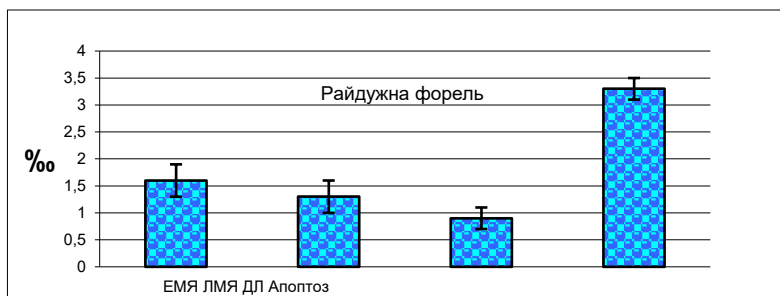
№ п/п	№ проби	ЕМЯ	ЛМЯ	ДЛ	Апоптоз
1	1	2	-	-	4
2	2	3	-	-	2
3	3	2	3	1	3
4	4	1	1	1	2
5	6	1	-	-	4
6	7	1	-	-	4
7	8	2	1	1	3
8	10	2	1	1	4
9	12	2	-	2	3
10	13	1	1	1	3
11	14	2	1	-	4
12	16	1	1	2	2
13	17	2	2	1	3
14	19	1	2	-	3
15	20	2	2	1	2
Середнє		1,7±0,2	1,0±0,2	0,7±0,2	3,1±0,2

<sup>24</sup> Tolga Cavas, Serap Ergene-Gozukara. Micronucleus test in fish cells: a bioassay for in situ monitoring of genotoxic pollution in the marine environment. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 2005. V. 46. № 1. P. 64–70.

Результати цитогенетичного аналізу показали, що досліджувана група райдужної форелі характеризується відносно не високим рівнем еритроцитів з мікроядрами ( $1,7 \pm 0,2\%$ ) та низькою частотою лімфоцитів з мікроядрами ( $1,0 \pm 0,2\%$ ) та двуюдерних лімфоцитів ( $0,7 \pm 0,2\%$ ). В свою чергу підвищений рівень апоптозів ( $3,1 \pm 0,2\%$ ) в групі райдужної форелі може бути результатом елімінації мутантних лімфоцитів даним шляхом.

Сумарне значення генетично дефектних лімфоцитів становило ( $1,7 \pm 0,2\%$ ), що свідчить про відсутність екзогенно тиску на імунну систему риб та сприятливі умови існування.

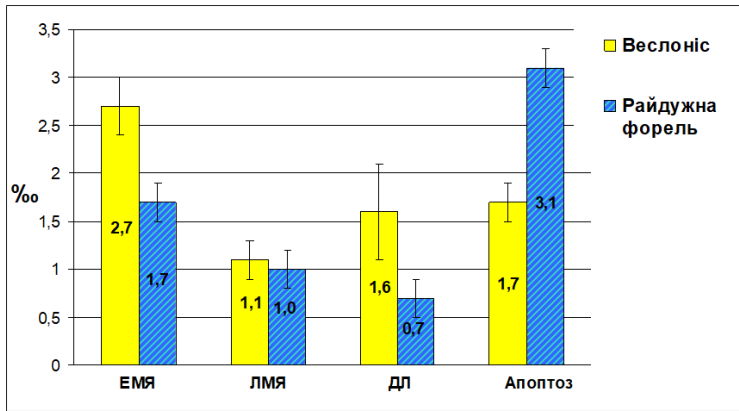
На рівень цитогенетичних показників впливають не лише екзогенні чинники, але і видова приналежність та вік об'єктів досліджень. Тому з метою виключення впливу даних чинників було виконано аналогічні дослідження в локальному стаді трирічок райдужної форелі вирощеному в умовах залізобетонних басейнів ТОВ «Слобода Банилів» Чернівецької обл. (рис. 5).



**Рис. 5. Рівень цитогенетичних показників райдужної форелі**

За результатами цитогенетичного аналізу встановлено, що досліджувана група райдужної форелі характеризується також відносно не високим рівнем еритроцитів з мікроядрами ( $1,6 \pm 0,3\%$ ) та лімфоцитів з мікроядрами і двуюдерних лімфоцитів. Підвищена частота апоптозів в даній групі ( $3,3 \pm 0,2\%$ ) на нашу думку також свідчить про елімінації мутантних лімфоцитів даним шляхом. Статистично вірогідних міжгрупових відмінностей за цитогенетичними показниками виявлено не було.

З метою перевірки інформативності цитогенетичних маркерів для оцінки видоспецифічної генетичної гетерогенності виконували мікроядерний тест на прикладі племінних стад веслоноса ДПДГ «Нивка» Київської обл. та райдужної форелі ТОВ «Ішхан» Чернівецької обл. відібраних в один і той же час (рис. 6).



**Рис. 6. Рівень цитогенетичних показників веслоноса та райдужної форелі**

Встановлено, що група веслоноса статистично вірогідно характеризується вищим рівнем цитогенетичних показників за частотою ЕМЯ ( $P < 0,05$ ) та ДЛ ( $P < 0,05$ ). За кількістю мікроядерних лімфоцитів групи практично не відрізнялись. В свою чергу райдужна форель статистично вірогідно характеризується вищим рівнем апоптозів ( $P < 0,005$ ), що можливо пояснюється елімінацією мутантних клітин у даних риб шляхом апоптозу.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених молекулярно-генетичних та цитогенетичних досліджень цінних видів риб були встановлені наступні особливості їх генетичної структури.

В представленій роботі ми показали, що міжмікросателітний ДНК аналіз (ISSR– PCR маркери) ефективний при вивченні генетичної структури і молекулярно-генетичної ідентифікації популяції веслоноса, що необхідно для формування ремонтно – маточних стад, в яких відбувається штучне відтворення з подальшим випуском молоді в популяцію з ідентичним генфондом. Загалом наші дослідження та дані отримані, при застосуванні різних маркерів, свідчить про те, що в дослідженій групі веслоноса існують суттєві відмінності. Вперше отримані дані щодо особливостей генетичної структури веслоноса та загалом ідентифіковано 145 ISSR– PCR маркерів із яких інформативними є 87%. Найвищі показники PIC (0,314), EMR (14), MI (4,4), PPV(100,0) та  $R_p$  (11) були зафіксовані за маркером (AGC)6C, для встановлення відмінностей серед особин вибірки, що свідчило про найбільшу ефективність даного маркеру. Показники демонструють



рівень інформативності та ефективності обраних маркерів для аналізу генетичної структури веслоноса.

Наявність мономорфних бендів встановлено, за маркером (AGC)<sub>6</sub>G виявлено три фрагменти розміром 125, 245 та 395 п.н, за маркером В фрагмент 1085 п.н. Мономорфні бенди в подальшому можна застосовувати для міжвидових порівнянь різних видів та встановлення походження зразків.

Отримані дані будуть використовуватися у подальшій аналітичній обробці для оцінки популяційно – генетичної структури дослідженої групи веслоноса.

Таким чином, результати проведених досліджень генетичної структури райдужної форелі за окремими біохімічними системами вказували на високий рівень гетерозиготності досліджуваної популяції райдужної форелі, який в середньому становив 64,2%. Спостерігався невривноважений стан генетичної структури райдужної форелі через надлишок гетерозиготних особин за локусами SOD ( $P < 0,001$ ), EST ( $P < 0,01$ ) і CA ( $P < 0,01$ ), що підтверджувалось також від'ємним значенням індексу фіксації ( $F_{is} = -0,29$ ).

Результати цитогенетичного аналізу в двох групах райдужної форелі показали, що вони характеризуються відносно не високим рівнем еритроцитів з мікроядрами ( $1,7 \pm 0,2\%$ ) та ( $1,6 \pm 0,3\%$ ) та низькою частотою лімфоцитів з мікроядрами та двуядерних лімфоцитів. В свою чергу підвищений рівень апоптозів в обох групах райдужної форелі може бути результатом елімінації мутантних лімфоцитів даним шляхом.

Встановлено, що група веслоноса статистично вірогідно характеризується вищим рівнем ЕМЯ ( $P < 0,05$ ) та ДЛ ( $P < 0,05$ ) порівняно з групою райдужної форелі. В свою чергу, райдужна форель статистично вірогідно характеризується вищим рівнем апоптозів ( $P < 0,005$ ).

Таким чином, в результаті проведених цитогенетичних досліджень встановлено, що для об'єктивної оцінки генетичної гетерогенності племінних стад веслоноса та райдужної форелі необхідно враховувати порушення в клітинах як еритроцитарного, так і лейкоцитарного ряду.

Даний напрям досліджень заслуговує на подальший розвиток, що дасть змогу отримати більш повну інформацію щодо мінливості генетичної структури цінних видів риб.

## **АНОТАЦІЯ**

Проведені молекулярно-генетичні та цитогенетичні дослідження цінних видів риб з різних регіонів відтворення, що характеризуються особливостями їх генетичної структури.

Вивчено особливості генетичної структури веслоноса ідентифіковано 145 ISSR– PCR маркерів із яких інформативними є 87%. Найбільш інформативним є маркер (AGC)<sub>6</sub>C, що було визначено за показниками PIC (0,314), EMR (14), MI (4,4), PPB(100,0) та R<sub>p</sub> (11). Наявність мономорфних бендів встановлено, за маркером (AGC)<sub>6</sub>G виявлено три фрагменти розміром 125, 245 та 395 п.н, за маркером В фрагмент 1085 п.н. Мономорфні бенди в подальшому можна

застосовувати для міжвидових порівнянь різних видів та встановлення походження зразків.

Результати характеристики генетичної структури райдужної форелі з використанням біохімічних систем дозволяє оцінювати особливості динаміки генофондів у відповідь на дію факторів природного і штучного відборів. Значення фактичного рівня середньої гетерозиготності ( $H_o=64,2\%$ ), який переважав очікуваний рівень ( $H_e=50\%$ ), вказувало на високий рівень генетичної мінливості райдужної форелі. Від'ємне значення показника інбридингу  $F_{is}$  свідчило про 29% надлишок гетерозигот у дослідженому стаді райдужної форелі.

В роботі здійснено аналіз специфіки формування цитогенетичних показників цінних видів риб в залежності від видової приналежності та умов розведення. Встановлено, що дві групи райдужної форелі господарств ТОВ «Ішхан» та ТОВ «Слобода Банилів» Чернівецької обл. характеризуються відносно не високим рівнем еритроцитів з мікроядрами, лімфоцитів з цитогенетичними порушеннями. Показано, що група веслоноса статистично вірогідно характеризується вищим рівнем ЕМЯ ( $P<0,05$ ) та ДЛІ ( $P<0,05$ ) порівняно з групою райдужної форелі. В свою чергу, райдужна форель статистично вірогідно характеризується вищим рівнем апоптозів ( $P<0,005$ ).

### Література

1. Третяк О. М., Грициняк І. І., Тарасюк С. І. Використання ДНК-маркерів у дослідженнях генетичної структури племінного матеріалу веслоноса (*Polyodon spathula* (Walb.)). *Рибогосподарська наука України*. 2012. № 4. С. 117–120.
2. Курта Х. М., Малишева О. О., Бабенко В. І., Спиридонов В. Г. Особливості генетичної структури веслоноса (*Polyodon spathula*) Чернігівської популяції. *Біологія тварин*. 2018. Т. 20. № 2. С. 51–57. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bitv\\_2018\\_20\\_2\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bitv_2018_20_2_8).)12,13.
3. Bielikova Olena, Mariutsa Alla, Mruk Antonina, Tarasjuk Serhii, Romanenko Viktoria. Genetic structure of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes, Salmonidae) from aquaculture by DNA-markers. *Biosystems Diversity*. 2021. Vol. 29. Issue 1. P. 28–32. S and WoS. <http://doi.org/10.15421/012104>.
4. Третяк О. М., Тарасюк С. І. Аналіз генетичної структури груп веслоноса за окремими генетико-біохімічними системами. *Рибогосподарська наука України*. 2011. № 1. С. 50–57.
5. Mims, S. Aquaculture of Paddlefish in the United States *Aquat. Living Resour.* 2001. V. 14. P. 391–398.
6. Kurta K., Malysheva O., Grishyn B., Getia A., Shynkarenko L., Spirydonov V. Identification allelic variants of microsatellite DNA paddlefish (*Polyodon spathula*). *Biological Resources and Nature Management*. 2017. Vol. 9. N. 5–6. Available at: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/9590>.

7. Sharylo Y., Vdovenko N., Fedorenko M., Gerasymchuk V., Neboga G., Haydamaka L., Hakun I. *Contemporary aquaculture: from theory to practice*. A practical guide. Kyiv, Prostobook. 2016. 149 p.

8. Pikitch E., Doukakis P., Lauck L., Chakrabarty P., Erickson D.L. Status, trends and management of sturgeon and paddlefish fisheries. *Fish and Fisheries*. 2005. V. 6. P. 233–265. DOI: 10.1111/j.1467-2979.2005.00190.x.

9. Malysheva O., Spyridonov V., Mosnyagul K., Shynkarenko L., Andreev I. Intraspecific polymorphism of the microsatellite DNA of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii brandt*). *Fishery science of Ukraine*. 2016. N. 4 (38). P. 123–130.

10. Kaczmarczyk D., Luczynski M., Kolman R. Assemblage of spawning pairs of farmed American paddlefish based on their individual genetic profiles – a new tool in managing of the broodstock's gene pool. *Summary document of Aquaculture Europe*. 2008. P. 36–37.

11. Chesnokov Y. V., Artemyeva A. M. Evaluation of the measure of polymorphism information of genetic diversity. *Agricultural Biology*. 2015. V. 50(5). P. 571–578. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.5.571eng>.

12. Prevost A., Wilkinson M. J. A new system of comparing PCR primers applied to ISSR fingerprinting of potato cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 1999. V. 98(1). P. 107–112. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001220051046>.

13. Nagaraju J., Damodar Reddy K., Nagaraja G. M., Sethuraan B. N. Comparison of multilocus RFLPs and PCR-based marker systems for genetic analysis of the silkworm, *Bombyx mori*. *Heredity*. 2001. V. 86. P. 588–597. doi: 10.1046/j.1365-2540.2001.00861.x).

14. Mendrisha P., Nagornjuk T., Tarasjuk S. Peculiarities of the genetic structure of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) groups at the fish farm «Sloboda Banilov», Chernivtsi region. *Рибогосподарська наука України*. 2016. № 2. С. 65–72. DOI: 10.15407/fsu2016.02.065.

15. Bielikova O. Yu., Tarasjuk S. I., Mruk A. I., Nahorniuk T. A., Buchatskyi L. P. Assessment of genetic structure variability of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1972) of Ukrainian local stocks using polymorphic blood plasma proteins. *Biotechnologia Acta*. 2021. V. 14. N 2. P. 37–46. DOI: 10.15407/biotech14.02.037.

16. Shaklee J. B., Allendorf F. W., Morizot D. C., Whitt G. S. Gene nomenclature for protein-coding loci in fish. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 1990. V. 119. P. 2–15.

17. Belpaeme K., Cooreman K., Kirsch-Volders M. Development and validation of the *in vivo* alkaline comet assay for detecting genomic damage in marine flatfish. *Mutat Res (Genet Toxicol EM)*. 1998. V. 415. P. 167–184.

18. Heddle J. A., Cimino M. C., Hayashi M. [et al.]. Micronuclei as an index of cytogenetic damage: past, present, and future. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 1991. V. 18. Iss. 4. P. 277–291.

19. Migliore L., Barale R., Bulluomini D. Cytogenetic damage induced in human lymphocytes by adriamycin and vincristine: a comparison between micronucleus and chromosomal aberration assays. *Toxicol. In vitro*. 1997. № 2. P. 247–254.

20. Ковальова О. А., Грициняк І. І. Цитогенетичні дослідження риб. *Рибогосподарська наука України*. 2009. № 1. С. 48–53.

21. Bickham J. W., Sandhu S. S., Hebert P. D. N., Chikhi L., Athwal R. Effects of chemical contaminants on genetic diversity in natural populations: implications for biomonitoring and ecotoxicology. *Mutat. Res.* 2000. V. 463. P. 33–51.

22. Villarini M., Moretti M., Pasquini R., Scassellati-Sforzolini G., Fatigoni C., Marcarelli M., Monarca S. *In vitro* genotoxic effects of the insecticide deltamethrin in human peripheral blood leukocytes: DNA damage in relation to the induction of sister-chromatid exchanges and micronuclei. *Toxicology*. 1998. V. 130(2-3). P. 129–139. doi: 10.1016/s0300-483x(98)00097-3.

23. Andrade V. M., Silva J., Silva F. R., Heuser V. D., Dias J. F., Yoneama M. L., Freitas T. R. Fish as bioindicators to assess the effects of pollution in two southern Brazilian rivers using the Comet assay and micronucleus test. *Environ. Mol. Mutagen.* 2004. V. 44(5). P. 459–468.

24. Tolga Cavas, Serap Ergene-Gozukara. Micronucleus test in fish cells: a bioassay for in situ monitoring of genotoxic pollution in the marine environment. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 2005. V. 46. № 1. P. 64–70.

**Information about the authors:**

**Mariutsa Alla Erhashivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Senior Research Scientist,

Head of the Laboratory of Genetics Investigation  
Institute of Fisheries of the National Academy  
of Agrarian Sciences of Ukraine

135, Obukhivska str., Kyiv, 03164, Ukraine

**Nahorniuk Tetiana Andriivna,**

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Scientist,  
Leading Research Scientist

Institute of Fisheries of the National Academy  
of Agrarian Sciences of Ukraine

135, Obukhivska str., Kyiv, 03164, Ukraine

**Hlushko Yuliia Mykolaivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Senior Research Scientist

Institute of Fisheries of the National Academy  
of Agrarian Sciences of Ukraine

135, Obukhivska str., Kyiv, 03164, Ukraine

## PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION AS AN ASPECT OF MILITARY CONFLICT

Paraniak R. P., Lytvyn N. A., Matsuska O. V.

### INTRODUCTION

The armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, which began on February 24, 2022, gave rise to many problems. Many of these problems are at the solution stage, while others are extremely far from being solved. Among the latter can be attributed damage and complex negative consequences for almost all components of the environment: only preliminary estimates, voiced by experts from Ukraine and the Czech Republic (NPO «Arnica»), predict 50 years or more for the restoration of disturbed nature. According to the Minister of Environmental Protection and Natural Resources, already after seven months of armed aggression, ecological damage in Ukraine has reached one trillion hryvnias or 36 billion euros, of which 11.4 billion are estimated to be damaged to the soil, 24.6 billion are losses related to with air pollution. By the end of the year, these numbers had grown significantly, according to the minister's announcement at the «United for Justice» conference<sup>1</sup>. It also became known that about a third of Ukraine's forests and 20% of the territories and objects of the nature reserve fund were damaged due to the war. Some types of damage and environmental damage are considered irreversible; significant damage was caused to biological diversity: approximately 600 species of animals and 750 species of plants were affected by the aggression of the Russian Federation.

Although environmental recovery from the consequences of war is fully available after its end and will continue for decades, the foundations for such recovery should be laid now by documenting cases of environmental damage, assessing the likely direct and indirect consequences, as well as forming plans for recovery measures the environment. Due to the enormity of the task such plans will primarily aim to prevent the most irreversible and catastrophic consequences. They must offer the optimal procedure for eliminating all the consequences of the armed aggression of the Russian Federation based on ecological and economic criteria.

### 1. Features of the classification of environmental consequences of military actions

The application of general scientific methods to modeling the effects of military actions and armed conflicts on nature and the main components of

---

<sup>1</sup> ЕкоЗагроза : Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://ecozaгроza.gov.ua/about>

the environment faces several obstacles, some of which are outlined in<sup>2</sup>. First of all, these are the difficulties of building a verified cause-and-effect relationship due to: the impossibility of conducting planned experimental studies; heterogeneity of the general population of such exposure cases, which limits the applicability of sampling methods; in general, the uniqueness of each conflict concerning the scale, a form of flow, types of natural ecosystems involved in the conflict, as well as the means and types of impact on the environment. Therefore, despite a sufficiently broad base for research (122 armed conflicts took place in the world in just 17 years from 1992 to 2008, and 163 out of 192 countries currently have and use regular armed forces<sup>3</sup>), systematic study of the problem has currently received enough a limited range of recognized results and scientifically based conclusions, which are needed for forecasting and assessing the ecological consequences of wars.

First, a military conflict as an event in time and space has its framework. Thus, several scales (local, regional, global) and three stages (pre-war, war, and post-war) are distinguished in<sup>4</sup>, which should be used to classify the environmental consequences of military actions and armed conflicts.

The local effect is mainly understood as the impact on specific landscapes. These can be the consequences of artillery or missile attacks, local fires caused by them, damage to the soil due to the movement of military equipment, individual facts of the death of specimens of flora and fauna, and localized pollution of water bodies and soil.

Regional consequences can be large-scale fires, including forest fires (air, flora, and fauna suffer damage, and there may be a significant impact on the soils of large areas), disruption of the hydrological regime of watercourses (from small rivers to large rivers), the death of a significant part of the population plants and animals (may result in the spread of invasive species and disruption of unique ecosystems, reduction of ecosystem diversity in a particular area), all incidents related to radiation pollution, etc.

Global consequences can result from using weapons of mass destruction, nuclear incidents, and ecosystem damage, triggering species extinction.

All consequences of military conflicts for the environment can relate directly to the stage of hostilities and accompanying activities (such as transportation of ammunition or fuel and lubricants, training, destruction of infrastructure, etc.). They also refer to the pre-war and post-war stages, no matter how strange the phrase about the consequence of the war, which took place even before the start of the armed confrontation, sounds.

War usually does not start in a vacuum. Preparatory works last for years and decades. The detonation of a plutonium charge preceded the explosions of two atomic bombs over Hiroshima and Nagasaki in the desert near

---

<sup>2</sup> Gleditsch N. P. Armed conflict and the environment: A critique of the literature. *Journal of Peace Research*. 1998. P. 381–400.

<sup>3</sup> Gleditsch N. P. Armed conflict and the environment: A critique of the literature. *Journal of Peace Research*. 1998. P. 381–400.

<sup>4</sup> Machlis G., Hanson, T. Warfare ecology. *BioScience*, 2008. № 58(8). P. 729–736.

Alamogordo (Trinity site); the training of a military pilot involves dozens and hundreds of hours of training flights during which vast volumes of fuel are burned; before entering the battlefield during training and exercises, a soldier shoots kilograms of ammunition, polluting the environment with their residues, affecting wildlife.

The global consequences of the military conflict associated with the aggression of the Russian Federation in Ukraine in 2022 include the phenomena and processes that some international researchers warn about. According to forecasts, a military conflict in countries that are essential food suppliers to many regions may destroy a significant portion of the land currently under the pastures and forests in those regions. Thus, a conflict in one part of the globe can have far-reaching ecological consequences in entirely different regions, and such consequences can be extremely difficult to eliminate. Also, the transfer of military technologies to civilian use<sup>5</sup>, which in many cases can have a significant impact on the environment, both positive and negative, can be a typical global consequence of waging war in wartime.

The environmental consequences of war on a regional scale in the post-war period are mainly reduced to pollution on a regional scale, degraded ecosystem services, and problems with natural resource management in conditions of an unstable economy.

When considering and classifying the ecological consequences of armed confrontations, it is also appropriate to apply the traditional classification of anthropogenic impacts on the environment, distinguishing impacts on the atmosphere and hydrosphere, plant and animal life, soils, and biodiversity the form of pollution, disruption, destruction, etc.

Finally, when studying the ecology of war, a separate and essential category should include the indirect consequences of military confrontations and their impact on the state of the environment. The following subsection will consider partial cases of the environmental effects of military confrontation. At the end of the current one, we will note one global effect associated with armed conflicts in general. The UN declared the concept of sustainable development as one of the critical goals to achieve; there is an opinion<sup>6</sup> that the current conflict is a serious obstacle to its implementation.

## **2. Indirect consequences of military conflict**

Military conflicts in the modern world are accompanied by several phenomena and processes that, in aggregate or in particular, can cause a far more significant effect on the environment than the direct conduct of military operations. These phenomena lie in different planes and can often have a hidden nature. Most are related to societal changes, the national economy, and other spheres of human life.

---

<sup>5</sup> Machlis G., Hanson, T. Warfare ecology. *BioScience*, 2008. № 58(8). P. 729-736.

<sup>6</sup> Machlis G., Hanson, T. Warfare ecology. *BioScience*, 2008. № 58(8). P. 729-736.

First of all, the war and its consequences cause changes in people's consciousness and the space of public opinion. This can directly affect the laws that determine the impact of man on the environment. For many decades, hundreds and thousands of scientists, teachers, and managers of all levels have worked on deepening ecological knowledge, raising environmental awareness of individual strata (such as youth) and society as a whole. The war as an influential stress factor shook the consciousness of individuals and communities; it is impossible to predict with certainty the distant consequences of such an impact: whether in conditions of threat to life and health, experiencing a shortage of vital resources, a person will treat the environment as hostile, as a part of the cruel reality, and whether, having endured the horrors of the war, even more efforts will be made to preserve our typical home – the environment and the ecosystems in which it lives. We will almost certainly observe the entire range of such effects in the war and post-war society. Still, the final result will depend on the numbers and the specific share of each group and its representatives' activity. The results of processes and manifestations of the effects of this form are difficult to predict, but there are powerful tools for influencing public opinion – mass media, the Internet, etc. Therefore, when planning to restore Ukraine's environment, one should pay attention to these complex problems and emphasize the war's environmental issues.

Further, the conduct of hostilities and even their very threat is a decisive factor causing the displacement of significant masses of the population. According to various data, during the year of the war, from 7.7 million people left Ukraine (the number of people officially registered in the EU as asylum seekers) to 4.5 million people (the number of crossings of the western border was recorded during the first year; however, some returned, some crossed the border repeatedly; on the other hand, some could leave illegally or through the territory occupied by the Russian Federation); another 4.7-5.4 million are internally displaced persons.

The very life activity of the population in the modern world is a factor of anthropogenic pressure on the natural environment. A city with a population of 1 million requires more space, food and industrial products, energy, clean water, and air. It generates larger volumes of household waste, sewage, and air pollution than a town with 10,000 inhabitants. Of course, in emergencies, a person can get by with a minimum of resources for living. Still, the military conflict in Ukraine has been going on for more than a year, and it is not easy to consider such a period as temporary.

Thus, we have a natural increase in the load on the environment in places that receive refugees and displaced persons. When a significant part of the population is moved from point A to point B, an increase in anthropogenic pressure in point B should be accompanied by a decrease in it in point A. This is usually the case. However, firstly, the war came to point A, and probably the situation, including the environmental one, is even worse there; secondly, let us assume that among the displaced persons, there are people who ensured



the removal and disposal of garbage, the operation of sewage treatment plants, energy supply, and the like in point B. Without proper care, a settlement in which 10-50% of the remained population may pose an even more significant threat to the environment than in the normal functioning of all life support systems of this settlement. Some aspects of the impact on the environment, which is associated with the movement of significant numbers of people over long distances, are similar to the environmental problems of tourism and are covered in detail in the relevant scientific literature.

The movement of large numbers of the population, including weakly organized and chaotic, is a bright background for the spread of various infections and diseases. An additional risk factor may be that displaced persons' bodies may be weakened, creating a favorable environment for developing pathogenic microorganisms. In the modern world, refugees often transport pets with them, and the high intensity of their movement often makes the levels of customs and quarantine control insufficient, resulting in the risk of epizootics.

The destruction of infrastructure due to hostilities and sabotage is primarily of socio-economic importance. Still, we must recognize the ecological consequences of such destruction and the accompanying effects on the environment, some of which we will consider in more detail.

### **3. Environmental risks related to infrastructure destruction during war**

The problems that comprise this side of the armed conflict are numerous and diverse; therefore, a thoughtful reader-researcher can complete the list below. We will briefly describe some of the consequences associated with the destruction of the infrastructure of the transport subsystem and the energy supply system.

– The main components of the energy infrastructure of Ukraine are energy-generating and energy-transmitting facilities and systems. The most extensive energy-generating facilities are nuclear and hydroelectric power plants, thermal power plants, and thermal power plants. Generating alternative energy capacities currently occupies a small share of the energy market of Ukraine. Military threats to such facilities are visible. They will be partially discussed below in the subsection devoted to typical types of environmental damage (risks of incidents at nuclear power plants associated with releasing active materials; nuclear terrorism of a broad profile; dangers of damage to dams HPP and HPP, etc.). These are direct threats to the state of the environment. The risks of indirect threats that disrupt average electrical energy generation should also be considered. Among them, we note the following:

– For the final consumer, electric energy is a relatively safe and ecological type of energy supply; the negative factors of the transmission of electricity over considerable distances and its use in everyday life and production can only be attributed to the increased level of electromagnetic radiation, which can be avoided by proper shielding. At the same time, in the

event of a disruption in the supply of electricity, consumers will be forced to switch to the use of other types of energy, such as the use of fossil fuels for heating, the use of gas and gasoline generators for obtaining electrical energy, etc. (which was observed everywhere in the cities of Ukraine during periods of the limited power supply). All these types of energy are more harmful to the environment and less efficient compared to the developed electricity supply system;

- the operation of many systems and components of production, on which the safety of the environment depends, significantly depends on the proper power supply. These are systems for cleaning gaseous emissions, equipment used at wastewater treatment plants, and safety components of ponds and sites where radioactive materials are stored. It is only sometimes possible to duplicate the energy supply of these systems from backup sources. Therefore the disruption of the average energy supply system, associated with destroying infrastructure during military operations, carries risks of environmental pollution with dangerous substances. Violation of energy supply can have consequences in the form of disruption of the regular functioning of livestock farms, chemical productions with a complex synthesis cycle, objects and structures of the nature reserve fund, etc., including harming the environment.

- Transport infrastructure is a rather complex integrated system, and in case of disruption of its links, it can continue to function by using reserve capacities and routes. At the same time, such changes may carry certain risks of increasing anthropogenic impact on the environment:

- Thus, in the event of a disruption of the power supply, electric transport will likely stop working. At the same time, transportation can be carried out at the expense of other means. However, we note that the transition from electric transport to cars with internal combustion engines (for example) will cause an additional burden on nature in the form of emissions of harmful gases and the use of fossil fuels, the resource of which is limited;

- among other things, the transport network transports environmentally hazardous goods. In the case of destroying the integrity of the transport infrastructure due to military operations, transportation safety decreases, and the risks of transporting such goods increase. An example of ecologically dangerous incidents while transporting goods by railway is the so-called phosphorus accident near Ozhydiv. In the conditions of war, the risks of such accidents as a result of the perpetrator's actions, a decrease in the general level of security, and other poorly predicted factors increase significantly;

- such an element of the transport infrastructure of Ukraine as the Tolyatti-Odesa ammonia pipeline deserves special attention, the active functioning of which was suspended with the beginning of intensive military operations. This transport element runs in many regions of Ukraine and potentially contains significant amounts of aggressive chemicals, and

therefore is dangerous from the point of view of threats to the environment, life, and health of people;

– regular functioning of the transport infrastructure is a necessary element of the response system to emergencies and artificial disasters. Proper transport connections allow the timely arrival of fire crews and teams of specialists to eliminate such situations and prevent potentially catastrophic environmental consequences. Thus, the impossibility of responding in time to a fire that has started can cause death and injury to people if the fire happens in a residential building; it can cause highly toxic emissions into the environment if a fire occurs in the buildings of the production complex; can cause the destruction of flora and fauna in large areas if a forest massif is affected by the fire. If the fire was caused by rocket fire or bombing, the corresponding damages are direct damage from the mentioned military actions. If the causes of the fire are different, but due to damage to the infrastructure, it was not possible to prevent the spread of the consequences of the emergency in time, we are dealing with indirect environmental risks of wartime caused by damage to the proper infrastructure.

#### **4. Features of the functioning of the natural-reserve fund system in the conditions of war**

The objects and territories of the nature reserve fund look vulnerable in war conditions. These objects and territories are essential for preserving biological diversity and conserving unique natural complexes. Considering the significant degree of anthropogenic transformation of the territory of our country, every corner of the preserved nature has a significant value; the value of these territories increases significantly if combined into an ecological network. At the same time, numerous factors accompanying armed aggression damage nature-protected territories.

The exact location of nature conservation areas in the war zone harms the nature of these areas. Such territories are vulnerable to fires, noise, and movement of equipment, not to mention such types of impact as shelling, explosions, digging trenches, spills of fuel and lubricants, and soil contamination with toxic materials, including rocket fuel.

Data on the objects of the Nature Reserve Fund of Ukraine, which suffered due to a full-scale invasion, are constantly updated. Already six months after the beginning of the invasion, it was known that several million hectares of Ukrainian forests had been damaged, many of which are located in protected areas. According to some data, about 44% of the reserves and national parks area are located in the temporarily occupied territories and the war zone, including extremely valuable territories, such as Askania-Nova – a reserve included in the list of reference territories of the planet by the UNESCO Council.

According to<sup>7</sup>, about two hundred territories of the Emerald Network (Emerald Network) out of 377 territories that were part of it as of December 2019 for implementing the initiatives of the Berne Convention are under threat. In addition to the Askania-Nova Reserve, the Chernobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve, the Black Sea Biosphere Reserve, and other territories, such as the Kinburnska Kosa RLP, Tuzlivski Lymani NP, Drevliansky NR, Svyati Hory NNP, and Meotida, suffered significant damage. «Dzharylgatskyi,» «Oleshkivski sands,» and others. It is only possible to objectively assess the damage's extent once these territories' occupation is completed. However, even after its completion, there will most likely be a danger of being in these territories for a long time due to a significant percentage of mined zones in the territories where hostilities occurred. The presence of mines and munitions in nature conservation territories can cause the direct death of animals and significantly limits scientists' and researchers' access to these valuable territories. This factor may become a problem for NNPs when implementing their recreational and educational function.

Protected territories are not only areas where economic and other human activity are limited to minimize the impact on natural complexes. It is also a giant laboratory for studying nature. Research has been suspended here under the threat of shelling, which is already causing significant damage to environmental science.

Among the harmful effects of armed aggression on nature conservation areas concerning the environment cases of violation of water bodies, mass death of ichthyofauna, increase in the frequency and intensity of forest fires, destruction of habitats of rare species, displacement of wild animals from territories where their peace is disturbed, and even changes in migration routes are noted—migratory birds<sup>8</sup>. A typical consequence of such impacts is the loss of biodiversity at all levels: species, landscape, and ecosystem. When unique natural complexes are lost, such processes and phenomena can be interpreted as irreversible environmental losses caused by military confrontation<sup>9,10</sup>. The risks of wind and water erosion are increasing as a result of the uncontrolled movement of the invader through the territory of the objects of the nature reserve fund.

---

<sup>7</sup> Pereira P., Zhao W., Symochko L., Inacio M., Bogunovic I., Barcelo, D. The Russian-Ukrainian armed conflict impact will push back the sustainable development goals. *Geography and Sustainability*, 2022. P. 277-287.

<sup>8</sup> Конференції державного університету «Житомирська політехніка», Житомир, 2022. URL: [https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/nova\\_zbirnyk\\_suchasni-problemy-ekolohiyi\\_2022.pdf](https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/nova_zbirnyk_suchasni-problemy-ekolohiyi_2022.pdf)

<sup>9</sup> Екологічні збитки від військової агресії РФ становлять майже 2 трлн грн / повідомлення агентства Інтерфакс-Україна за підсумками конференції «Об'єднані заради справедливості» (United for Justice) Львів, 2023. URL: <https://interfax.com.ua/news/greendeal/895617.html>

<sup>10</sup> Rawtani D., Gupta G., Khatri N., Rao P., Hussain, C. Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of The Total Environment*, 2022. Vol. 850, 157932. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157932

## 5. Systems and methods of documenting environmental crimes of wartime

A feature of the armed aggression of the Russian Federation, the active phase of which began on February 24, 2022, is the informational component. Unlike many past conflicts, most of the events of this confrontation are comprehensively covered and recorded using modern information and digital technologies. Here it is important to note that to objectively evaluate events and phenomena that potentially harm the quality of the natural environment, the stability of ecosystems, and the normal functioning of biological mechanisms, one should, first of all, have complete information about these events and phenomena, their mechanisms, causes and the consequences that accompany them.

To assess the environmental consequences of military actions, information on the circumstances of such consequences should be recorded as accurately and thoroughly as possible. Therefore, accounting for the actions of the aggressor, which are criminal concerning the environment, is a primary task at this stage of the armed conflict and will play an essential role in the future<sup>11</sup>. It is about implementing compensatory measures, restoring the environment, and forming mechanisms for financial support to compensate for the damage caused. Note that the estimates given in<sup>12</sup> at this stage have not been fully verified regarding the calculation methodology and the complete coverage of all types of negative impacts on the environment associated with the armed aggression of the Russian Federation, including taking into account the indirect consequences described above.

It is essential to establish transparent and perfect mechanisms for detecting, recording, and documenting actions that can be interpreted as environmental crimes so that all mechanisms and the conclusions obtained on their basis are unambiguous and recognized by both the population and the international community. Various organizations and institutions work to document the environmental damage caused by the Russian invasion of Ukraine. First, these are the Ministry of Environment and subordinate state authorities. Also, because of the above, the role of international organizations is essential. Unfortunately, many international institutions still observe pro-Russian influences and neglect the true essence of events in Ukraine. Thus, the Russian Federation uses the international database of nature conservation areas WDPA. In the WDPA (World Database on Protected Areas), which is a joint project of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) and the United Nations Environment Program (UNEP), some occupied

---

<sup>11</sup> Пацева І. Г., Алпатова О. М., Демчук Л. І., Кірейцева Г. В., Левицький В. Г. Сучасний стан навколишнього природного середовища в умовах впливу війни. Науково-практичний журнал, 2022. С. 19-22.

<sup>12</sup> Екологічні збитки від військової агресії РФ становлять майже 2 трлн грн / повідомлення агентства Інтерфакс-Україна за підсумками конференції «Об'єднані заради справедливості» (United for Justice) Львів, 2023. URL: <https://interfax.com.ua/news/greendead/895617.html>

protected areas in Crimea (e.g., NNP «Charivna Gavan») are attributed as located in the Russian Federation (data as of 03/06/2023 according to the data of the Ukrainian nature protection group).

The Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine not only independently records cases of environmental violations and fixes problems of its preservation in conditions of military confrontation but also uses modern technologies to collect, process and organize access to data that are of interest in this context. One of the directions of organizing the automatic collection and recording of information about environmental threats in real-time is the site's activity and the Ecozagroza project<sup>13</sup>, implemented with the participation of the European Union, USAID, UKAID, Apena2, Eura-sia Foundation, and others. As of mid-March 2023, the project involved 19,375 participants, including 27 environmental experts, four public organizations, and more than 16,000 citizens of Ukraine.

The complete coverage of ecological threats and monitoring of the impact of war on the environment by the Eco-Threat project currently requires an objective assessment because it is clear that not every citizen of the country who witnessed an environmental crime will be able to identify it clearly, and even in case of such identification will leave a corresponding message on the site using the Internet or mobile application. When reporting such a threat, users are offered to add information with or without photo/video evidence. You need to specify the location and choose one of the impact categories:

- Air (fires of petroleum products, burning of military equipment, emissions of toxic substances into the air, ignition of other objects)
- Waste (explosives, detonated military equipment, hazardous waste, other waste)
- Soils (oil spills, toxic spills)
- Water (spill of oil products, spill of poisonous substances, sunken military equipment)
- Forest and NPF (fire in forest stands, mass felling or felling of forest, negative impact on NPF objects)

In each category, details are indicated (if emissions of toxic substances – what exactly and in what volume, if burning equipment – what and how many pieces, etc.). It is also suggested to give a verbal description of the situation.

As of March 15, 2023, this project made it possible to process 2,340 appeals, verify 96.24% of them, and assess losses (calculated by the State Inspectorate according to approved methods) in the amount of UAH 1,902 billion, including UAH 988 billion in the air category, 844 billion in the waste category, UAH 12 billion – soil pollution. It is clear that the obtained picture is far from complete (for example, only 62 appeals in the category of forests and NPF were recorded, of which 22 were in the Kyiv region); however, as a

---

<sup>13</sup> ЕкоЗагроза : Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/about>

component of the public database on environmental violations, this project is essential.

Among the studies of the impact of Russian aggression on the environment of Ukraine, as of the beginning of autumn 2022, the following structure of environmental crimes is distinguished: 22% – industrial accidents, 11% – impact on water resources, 15% – damage to green areas, 7% related to radiation objects, other types of crimes against the environment account for more than 36%.<sup>14</sup> At the same time, such studies are often not accompanied by references to sources that can be verified; the collected information is of an episodic nature and of low value in the context of the formation of a full-fledged database on the ecological consequences of the armed aggression of the Russian Federation in Ukraine to use these data as legal justification in courts and as reliable scientific material in the study and planning of environmental restoration of Ukraine after the end of armed aggression.

The Conflict Observatory resource (<https://hub.conflictobservatory.org/>) has been declared an information center for collecting, analyzing, and complete access to evidence of war crimes committed by Russia and other atrocities in Ukraine. The Conflict Observatory will analyze and store publicly available and commercially available information, including satellite images and information shared via social media, following international legal standards for current and future accountability mechanisms. This includes maintaining a strict chain of custody procedures for future civil and criminal trials in the relevant jurisdictions. This is a new joint initiative of Esri, Alcis, and Quiet Professionals LLC, with research, analysis, and documentation provided by the Yale Humanities Research Laboratory, the Smithsonian Cultural Rescue Initiative, and PlanetScape Ai. In any case, the ecological problems of Ukraine, related to the armed aggression of the Russian Federation, are complex and long-lasting and require further research and development of methods for their solution.

Many researchers also draw attention to the imperfection of the international system of punishment for environmental crimes during hostilities and the need for its reorganization<sup>15,16</sup>.

## **6. Separate and general types of environmental violation**

Among the most impressive and noticeable facts of damage to the environment is the damage to the atmospheric air. Thus, numerous rocket and artillery attacks caused fires in all regions of Ukraine, from the contact line in the east and south to Lviv Oblast in the west. Clouds of dust, smoke, and toxic

---

<sup>14</sup> Конференції державного університету «Житомирська політехніка», Житомир, 2022. URL: [https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/nova\\_zbirnyk\\_suchasni-problemy-ekolohiyi\\_2022](https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/nova_zbirnyk_suchasni-problemy-ekolohiyi_2022).

<sup>15</sup> Austin J. E., Bruch C. E. (Eds.). *The environmental consequences of war: Legal, economic, and scientific perspectives*. Cambridge University Press, 2000. 712 p.

<sup>16</sup> Rawtani D., Gupta G., Khatri N., Rao P., Hussain, C. *Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective*. *Science of The Total Environment*, 2022. Vol. 850, 157932. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157932

substances enveloped Ukrainian cities in the places where Russian missiles hit, drone explosions, and projectiles of rocket salvo systems, in addition to the use of equipment that intensively burns oil products, heavy flame-throwing systems that fire thermobaric and incendiary ammunition. The Russian Federation bombards not only oil product warehouses but also chemical plants; for example, in the Luhansk region, as a result of the shelling of tanks with nitric acid on the territory of a chemical plant, a large cloud of toxic fumes was released into the atmosphere, which spread to the residential quarters of Severodonetsk. Clouds of toxic smoke were recorded near Bakhmut, probably due to damage to a section of the ammonia pipeline. As a result of attacks on objects of civilian infrastructure alone, more than 680,000 tons of oil and fuel were burned with the release of combustion products into the atmosphere.

A separate and hazardous threat to the environment is connected with the irresponsible attitude of the Russian occupiers to radiation and nuclear safety, which is confirmed by their shelling of the Southern Ukrainian NPP, their behavior in the exclusion zone, and at the Chornobyl NPP. From February 24 to March 31, 2022, the occupiers of the Russian Federation held the Chornobyl NPP, preventing the normal functioning and safe storage of spent fuel. Part of the Russian military in the Chornobyl exclusion zone suffered from radiation. When moving in, the so-called Clouds of radioactive dust rose into the air from the red forest of military equipment and the construction of fortifications. According to «Kyiv-INFO,» 26 occupiers were hospitalized, one occupier died of radiation sickness as of April 1, 2022, and another 73 people have damage symptoms. On February 24-25, 2022, the radiation background in the exclusion zone was exceeded by 7.6 times<sup>17</sup>. Further, the connection with the exclusion zone's Automated Systems of Radiation Control data was severed.

All four operating nuclear power plants in Ukraine are in the zone of possible damage by Russian missiles. One of the NPPs, the South Ukrainian one, is physically controlled by the enemy, deploys troops there, and conducts shelling. On 04/16/2022, the flight of three cruise missiles, probably from the territory of Belarus in the direction of Mykolaiv, was recorded over the site of the Southern Ukrainian NPP. On the morning of 06/05/2022, a Russian cruise missile (probably Caliber) flew low over the South Ukrainian NPP. According to the design characteristics, the protective cap of the station can withstand the fall of an aircraft weighing about 5.7 tons. Still, the nuclear power plant is not designed to be in the center of hostilities since the penetration capacity of missile and artillery systems is higher. On September 19, 2022, at 00:20, Russian troops launched a missile attack on the SUNPP industrial zone. The shelling was probably carried out by an «Iskander» missile (data from

---

<sup>17</sup> Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 9 березня 2022 року / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39028.html>



Deutsche Welle and UkrInform). The rocket exploded 300 meters from the nuclear reactor, forming a crater with a diameter of 4 m and a depth of 2 m. The threats for the first period of February 24-March 9, 2022, are disclosed in more detail in the official notification of the Ministry of Natural Resources<sup>18</sup>. Violation of the Geneva Conventions of August 12, 1949, the 24th Principle of the Rio Declaration on Environment and Development, and other acts and agreements are emphasized.

Soil pollution and mining of a large part of the territory may become a massive problem for Ukraine. Mine pollution is primarily a danger to the health and life of the population. Still, at the same time, it threatens the environment through several mechanisms: first of all, mines can cause the death of wild animals, including those listed in the Red Book; further, the extended stay of mine structures and systems in the soil makes this soil unsuitable for several uses for many years, and in the case of destruction of the mine body, pollution of the surrounding area may occur, in addition, a half-destroyed mine is practically impossible to neutralize by standard methods, except for detonation; finally, mining limits safe access both for monitoring the state of the environment and for its protection (such as flood prevention measures, firefighting, pest and disease control in natural ecosystems, etc.).

According to the notification of the State Emergency Service from 11/18/2022, up to 30% of the territory of Ukraine (which is 170 thousand square kilometers or the area of two Austrias) is mined or may be mined. Currently, intensive demining works are being carried out in the south of Ukraine in the de-occupied areas of the Kherson and Mykolaiv regions. According to estimates, demining should be carried out in the first of them on an area of 7 thousand square km, and in the second – about 1.5 thousand square km. In many districts of Kyiv, Chernihiv, Sumy, and Kharkiv regions, the local population is advised to refrain from visiting forests and other natural landscapes where there is a danger of encountering a mine. There are facts of the poisoning of law enforcement officers of the Ternopil Region, who worked at the rocket impact site, with substances contained in rocket fuel, because the aggressor's cruise missiles use low-resource turbojet engines running on T-10 decilin. This fuel is toxic for inhalation, which irritates the skin and is probably fatal when ingested. One X-101 rocket initially carries more than a ton of this fuel.

Damage to tree vegetation is a typical environmental disturbance in areas where intense hostilities occur and in the strip adjacent to these areas. Such damage can be caused by shelling and the movement of military equipment. Numerous cases were found in the Kyiv and Sumy regions when unexploded shells were stuck in trees and soil. Such munitions significantly threaten

---

<sup>18</sup> Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 9 березня 2022 року / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39028.html>

human life, health, and the environment. Such ammunition stuck in a tree is usually the result of secondary explosions when enemy equipment explodes, and ammunition is scattered over the area. The chaotic nature of the contamination of the territory with ammunition of this type increases the difficulty of neutralizing them and restoring the territory's security.

Significant environmental risks are associated with the barbaric attitude of the occupiers to water resources in general and to reclaim land in particular. Evidence<sup>19</sup> shows that the unprofessional use of water for irrigation in the southern regions (Kherson region and Crimea) can cause secondary salinization of vulnerable soils and make cultural exploitation impossible.

An eloquent example of the ecological consequences of armed conflicts on the example of the aggression of the Russian Federation in Ukraine is the damage to hydrobionts of freshwater and marine ecosystems. Yes, many dolphins have been found dead in the Black Sea; there is evidence that this may be a consequence of the Navy's use of robust sonar systems. Presumably, this effect is enhanced by the migration of animals to the shallow water zone of the northwestern part of the Black Sea, where food is scarce. Such a migration could be initiated by the alarm factor and the phenomenon of the contusion of marine mammals due to explosions and movements of the military fleet. In addition to the deaths of dolphins, in particular, mass fish deaths in the Dnipro near the Kakhovska HPP were recorded in the Tuzlynsky Lyman NPP.

A hazardous environmental factor is the possible use of phosphorous ammunition by the Russian troops during the assault on Azovstal and in other places of hostilities. For independent confirmation of this and other violations of the rules of war and the commission of environmental crimes, it is necessary to continue and improve the investigation into the aggressor's actions by collecting testimony and documentary evidence at all levels.

## CONCLUSIONS

A significant impact accompanies the conduct of hostilities on natural ecosystems. No single theory would explain the ecological consequences of armed conflicts.

The environmental effects of modern warfare can be divided into local, regional, and global. By time and type of impact factor, it is possible to single out the impact on the environment associated with the preparation for war, the direct impact of the conduct of hostilities, and post-war environmental impacts associated with eliminating its consequences.

It is also appropriate to highlight military actions' direct and indirect consequences on the environment. Some damages to the environment of Ukraine cannot be estimated in financial terms. In addition to destroying

---

<sup>19</sup> Конференції державного університету «Житомирська політехніка», Житомир, 2022.  
URL: [https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/nova\\_zbirnyk\\_suchasni-problemy-ekolohiyi\\_2022](https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/nova_zbirnyk_suchasni-problemy-ekolohiyi_2022).

unique ecosystems, the war erased decades of work on environmental protection in Ukraine.

## SUMMARY

One of the aspects of military conflicts is the environmental aspect. A specific and rather intense impact accompanies the conduct of hostilities and preparations for war on the environment. Although environmental damage is not usually a goal of warfare, such damage is integral to most armed conflicts. There is no single model of how war affects the environment. At the same time, like most human activity, war changes the environment, damaging natural ecosystems and destroying human habitats. Numerous attempts to classify the environmental consequences of military confrontation boil down to the fact that it is expedient to distinguish direct and indirect consequences at different scales and stages of military confrontation.

The destruction of the natural systems of Ukraine during the armed aggression of the Russian Federation and the associated environmental challenges are numerous and diverse: the use of ammunition and damage to enterprises of various industries, including the chemical industry, the release of radioactive dust into the air due to the movement of heavy equipment in the Chernobyl zone and strikes on nuclear reactors power plants and related infrastructure facilities, destruction of gas pipelines and oil storage facilities, numerous fires in populated areas, mining of large areas and the impact of shock waves and combustion products on components of natural and anthropogenically altered ecosystems, etc. It is also clear that the consequences of hostilities will affect nature, people, and society even after these actions end. In the risk zone are, among other things, the territories and objects of the NRF.

It is essential to record and document the facts of environmental crimes and develop long-term plans to neutralize their consequences.

## Bibliography

1. ЕкоЗагроза : Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/about>
2. Екологічні збитки від військової агресії РФ становлять майже 2 трлн грн / повідомлення агенства Інтерфакс-Україна за підсумками конференції «Об'єднані заради справедливості» (United for Justice) Львів, 2023. URL: <https://interfax.com.ua/news/greendeal /895617.html>
3. Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 9 березня 2022 року / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepf.gov.ua/news/39028.html>
4. Конференції державного університету «Житомирська політехніка», Житомир, 2022. URL: [https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/nova\\_zbirnyk\\_suchasni-problemy-ekolohiyi \\_2022.pdf](https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/nova_zbirnyk_suchasni-problemy-ekolohiyi _2022.pdf)

5. Пацева І. Г., Алпатова О. М., Демчук Л. І., Кірейцева Г. В., Левицький В. Г. Сучасний стан навколишнього природного середовища в умовах впливу війни. *Науково-практичний журнал*, 2022. С. 19-22.
6. Austin J. E., Bruch C. E. (Eds.). *The environmental consequences of war: Legal, economic, and scientific perspectives*. Cambridge University Press, 2000. 712 p.
7. Gleditsch N. P. Armed conflict and the environment: A critique of the literature. *Journal of Peace Research*. 1998. P. 381–400.
8. Machlis G., Hanson, T. Warfare ecology. *BioScience*, 2008. № 58(8). P. 729-736.
9. Pereira P., Zhao W., Symochko L., Inacio M., Bogunovic I., Barcelo, D. The Russian-Ukrainian armed conflict impact will push back the sustainable development goals. *Geography and Sustainability*, 2022. P. 277-287.
10. Rawtani D., Gupta G., Khatri N., Rao P., Hussain, C. Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of The Total Environment*, 2022. Vol. 850, 157932. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157932

**Information about the authors:**

**Paraniak Roman Petrovych,**

Doctor of Agricultural Sciences,  
Professor at the Department of Ecology  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and  
Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Lytvyn Nadiia Antonivna,**

Candidate of Veterinary Sciences,  
Associate Professor at the Department of Ecology  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and  
Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Matsuska Oksana Vasylivna,**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Associate Professor at the Department of Ecology  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and  
Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**ОСОБЛИВОСТІ ПАТОГЕНЕЗУ ЕУСТРОНГЕЛІДОЗУ У *PERCA FLUVIATILIS* LINNAEUS, 1758, *SANDER LUCIOPERCA* (LINNAEUS, 1758) ТА *ESOX LUCIUS* LINNAEUS, 1758 ДНІПРОВСЬКОГО (ЗАПОРІЗЬКОГО) ВОДОСХОВИЩА**

**Сидоренко В. С., Маренков О. М., Єрух М. М.**

**ВСТУП**

Значну площу України займають прісноводні водойми – річки та озера, які відіграють важливу роль у сільському господарстві населення, зокрема у рибництві та рибальстві. Товарне рибництво та промислове рибальство – перспективні галузі сільськогосподарської промисловості, які мають на меті забезпечувати населення якісною рибною продукцією. Риба – важливий продукт харчування: містить цінні білки із збалансованим вмістом незамінних амінокислот, вітаміни та мінерали. Тому попит на рибну продукцію вітчизняного виробництва зростає. Через це дуже важливо знати вплив паразитів на якість рибної продукції.

Часто в літературі можна зустріти інформацію про розповсюдження та високу інвазію риб паразитичними нематодами р. *Eustrongylides*. Цикл розвитку даного паразита досить добре вивчений. Відомо, що риби є проміжними господарями і заражаються, поїдаючи інвазованих олігохет. Остаточним господарем є рибоїдні птахи.

Паразит заражає багато видів риб, локалізуючись в черевній порожнині, на внутрішніх органах і м'язах. Однак, залишаються слабовивченими питання патогенезу при інвазії риб еустрогелідесами.

У цьому аспекті особливу увагу привертають дослідження структурно-функціональних змін формених елементів крові у риб під впливом паразитичних нематод, оскільки саме еритроцити відповідають за переніс іонів кисню до тканин. Також важливо знати ступінь впливу даних паразитів на тканини та системи органів риб.

Нематоди *Eustrongylides excisus* належать до родини *Dioctophymatidae* та становлять потенційну загрозу здоров'ю людини<sup>1</sup>, про що свідчать літературні джерела. *E. excisus* визнано зоонозним паразитом, тобто небезпечним для людини. Зараження ним відбувається,

---

<sup>1</sup> Branciarri, R., Ranucci, D., Miraglia, D., Valiani, A., Veronesi, F., Urbani, E., LoVaglio, G., Pascucci, L., & Franceschini, R. (2016). Occurrence of parasites of the genus *Eustrongyli* spp. (Nematoda: Dioctophymatidae) in fish caught in Trasimeno lake, Italy. *Italian Journal of Food Safety*, 5 (4), 206–209. doi:10.4081/ijfs.2016.6130.

якщо людина споживає недостатньо термічно оброблену рибу та рибні продукти<sup>2</sup>.

Хижі види риб, такі як, наприклад, судак, окунь, та щука можуть слугувати, у їх життєвому циклі, елементом поширення цього збудника серед рибоїдних видів птахів.

Тому з метою вивчення функціонального стану риб при інвазії нематодою *Eustrongylides excisus* ми дослідили морфологічні, гістологічні зміни заражених риб, а також провели дослідження крові – мікроскопування фіксованих мазків та біохімічний аналіз.

Серед завдань досліджень було вивчення патологічних змін у м'язовій тканині, а також у тканинах печінки та нирок. Крім того: встановити можливі зміни форми та морфологічних показників формених елементів та деяких біохімічних показників сироватки крові хижих риб, хворих на еустронгелідоз, що були виловлені в Дніпровському (Запорізькому) водосховищі.

Оскільки кров риб є унікальною системою, котра виконує багато функцій: дихальну, трофічну, регуляторну дослідження гематологічних параметрів дає цінну інформацію про стан організму в конкретних умовах проживання.

Паразити є дуже серйозною проблемою, з якою можуть зіштовхнутися рибні господарства, які вирощують чи виловлюють товарну рибу. Паразитарні хвороби можуть завдати значних економічних збитків рибним господарствам та складно піддаються лікуванню. Отже, вивчення біологічних, клінічних і епізоотичних особливостей паразитичних гельмінтів представляє актуальний інтерес і для науки, і для рибориства.

## **1. Аналіз досліджень та публікацій стосовно зараження риб нематодом *Eustrongylides excisus***

*E. excisus* поширений у світі. Про реєстрацію цього виду повідомлено багатьма авторами в Сербії, Румунії, Туреччині, Бразилії, США, Італії, Ірані, Азербайджані, Чехії, а також в Україні<sup>3,4</sup>.

Так за даними Гончарова С. Л. у результаті дослідження хижих видів риб – судака (*Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758)), окуня звичайного (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758) та щуки (*Esox lucius* Linnaeus, 1758) в акваторіях Дніпро-Бузького лиману і дельти Дніпра встановлено

---

<sup>2</sup> Cole, R. (2013). Field Manual of Wild life Diseases. General Field Procedures and Diseases of Birds. 223–228.

<sup>3</sup> Soylu E. Metazoan parasites of perch *Perca fluviatilis* L. from lake Siğircı, Ipsala, Turkey. Pakistan Journal of Zoology, 2013, vol. 45, issue 1, pp. 47–52. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/acd4/e2ae9ea246e40170afada08de37b53444f20.pdf>

<sup>4</sup> Yesipova N. B. The spread of parasitic nematodes in fish *Eustrongylides excisus* Zaporozhye (Dnipro) reservoir. Modern probl. of theor. and pract. ichthyology: materials of VI International Ichthyological Sci. And Pract. Conf., Ternopil, 2013, pp. 86–88.

можливі асоціації еустронгілідозної інвазії з іншими паразитозами риб. Виявлено, що серед збудників паразитарних хвороб, які уражують досліджувану рибу, найбільшу частку становлять дигенетичні сисуні та нематоди, – 35,6 та 31,8 % відповідно. Найменшу групу паразитів, які уражують промислових риб, становлять акантоцефальози – 0,71 %.

Серед окунів спостерігали ураження збудниками диплостомозу (екстенсивність інвазії (EI) була 50,7 %, а інтенсивність інвазії (II) – в межах 2–41 екз.); параценогоніозу (EI – 15,3 %, II – 7–31 екз.); постодиплостомозу (EI – 9,97 %, II – 87–118 метацеркаріїв); дактилогірозу (EI – 37,2 %, II – 5–14 екз.); ларвального тріенофорозу (EI – 1,66, II – 2–5 цист); еустронгілідозу (EI – 85,2 %, II – 1–14 личинок); рафідоскарідозу (EI – 12,8 %, II – 4–36 нематод); псевдоехініринхозу (EI – 2,7 %, II – 1–3 екз.); аргульозу (EI – 12 %, II – 6–18 екз.); ергазильозу (EI – 6,02 %, II – 11–26 рачків).

Паразитофауна щуки характеризувалась збудниками диплостомозу (EI – 62 %, II – 3–17 личинок); параценогоніозу (EI – 42,7 %, II – 1–38 метацеркаріїв); постодиплостомозу (EI – 10,7 %, II – 23–51 екз.); дактилогірозу (EI – 17,8 %, II – 2–15 екз.); диплозоозу (EI – 0,67 %, II – 1 екз.); тріенофорозу (EI – 56,5 %, II – 1–9 екз.); валіпорозу (EI – 24,9 %, II – 1–11 плероцеркоїдів); еустронгілідозу (EI – 58,9 %, II – 1–13 личинок); рафідоскарідозу (EI – 76,4, II – 8–31 нематода), псевдоехініринхозу (EI – 2,02 %, II – 2–9 скребликів); аргульозу (EI – 28,2 %, II – 2–63 паразити).

Зараження судака збудниками паразитарних хвороб також були виявлені. Так, реєстрували збудників диплостомозу (EI – 52,7 %, II – 1–13 паразитів); параценогоніозу (EI – 15,3 %, II – 1–17 метацеркаріїв); постодиплостомозу (EI – 8,8 %, II – 5–84 личинки); дактилогірозу (EI – 31 %, II – 2–23 екз.); валіпорозу (EI – 5,9 %, II – 1–2 плероцеркоїди); еустронгілідозу (EI – 58,1, II – 1–9 екз.); рафідоскарідозу (EI – 18,2 %, II – 5–8 нематод); псевдоехініринхозу (EI – 0,49 %, II – 2 акантоцефала); ергазильозу (47,2 %, II – 7–28 рачків)<sup>5</sup>.

Також Гончаров С. Л. описує результати вивчення інвазування популяції тарані (*Rutilus rutilus* Linnaeus 1758) нематодою *Eustrongylides excisus*, яка була виловлена в акваторії Дніпро-Бузького лиману в період 2016–2019 рр. Дослідженнями встановлено, що інвазування риби у водоймі розподілено не рівномірно. Так, найвищі показники екстенсивності інвазії реєстрували у тарані, що була виловлена поблизу сіл Олександрівка (28,3 %) та Станіслав (17,5 %) Білозерського району, а також поблизу села Рибальче (18,3 %) Голопристанського району Херсонської області. Найменшими показниками екстенсивності інвазії

---

<sup>5</sup> Гончаров С. Л. Асоціація еустронгілідозу з іншими паразитарними інвазіями хижих риб природних водойм півдня України. Національний університет біоресурсів і природокористування України, <https://doi.org/10.15407/animbiol.21.04.022>, м. Київ, 2022.

за еустронгілідозу характеризувалась тарань, що була виловлена поблизу населеного пункту Софіївка (11,5 %) Білозерського району<sup>5</sup>.

Показники інтенсивності інвазії коливались від 1 до 3 нематод, що були виявлені в одній риби. За період досліджень, з 2016 по 2019 рік, рівень інвазованості тарані зріс на 27,8 %. Визначено, що пік зараження тарані збудником еустронгілідоз припадає на весну (20,1 %) та осінь (18,3 %); влітку (12,8 %) та зимою(15,1 %) кількість інвазованих риб зменшується. Варто зазначити, що за показниками морфометрії та кольором личинки *Eustrongylides excisus*, виділені від тарані, відрізнялися від тих, яких було встановлено у хижих видів риб, а саме: були меншими за розміром та не мали інтенсивно червоного кольору, а були блідо-червоними<sup>6</sup>.

Окрім деяких хижих видів риб, земноводні та рептилії теж можуть бути паратенічними господарями для личинок *E. excisus* на третій і четвертій стадіях розвитку (Saglam & Arikan, 2006 рік; Bjelić-Čabrilo та ін., 2013). Також виявлені личинки нематод третьої та четвертої стадій у людей (Guardone та ін., 2021; Гончаров та ін., 2022). За даними Єрмоленко С. В. личинки *E. Excisus* виявлено в підшкірних капсулах, розташованих в м'язовій тканині дорсальної частини деяких екземплярів вужіву середньому та нижньому басейнах річки Дніпро. Також нематоди локалізувалися в сполучнотканинних капсулах на поверхні внутрішніх органів. Іноді біля капсул спостерігаються запалення та механічні пошкодження органів. В одній капсулі зафіксовано до трьох личинок *E. excisus*<sup>7</sup>.

*Eustrongylides spp.* був визнаний зоонозним паразитом, небезпечним для людини. Зараження відбувається у випадкуспоживання недостатньо термічно обробленої риби і рибних продуктів<sup>8,9</sup>.

Отже, можна стверджувати, що даний вид паразитичних нематод стрімко розширює коло проміжних господарів, тому надзвичайно

---

<sup>6</sup> Гончаров С. Л. Поширення нематоди *Eustrongylides excisus* Jägerskiöld, 1909, – larvae (Nematoda: Dioctophymatidae) серед тарані (*Rutilus rutilus*, Linnaeus 1758) у Дніпро – Бузькому лимані півдня України. Scientific Messenger LNUVMB. Series: Veterinary sciences, 2020, vol. 22, no 97.

<sup>7</sup> S. V. Yermolenko, V. A. Gasso, A. M. Hahut, V. A. Spirina. INFECTION OF DICE SNAKE, *NATRIX TESSELLATA* (REPTILIA, COLUBRIDAE), WITH *EUSTRONGYLIDES EXCISUS* (NEMATODA, DIOCTOPHYMATIDAE) IN THE MIDDLE AND LOWER DNIPRO RIVER BASIN, *Zoodiversity*, 56(4):341-348, 2022, DOI 10.15407/zoo2022.04.341, p.343 – 348.

<sup>8</sup> Narr L. L., O'Donnell J. G., Libster B., Alessi P., Abraham D. *Eustrongylidiasis* – a parasitic infection acquired by eating live minnows. The Journal of the American Osteopathic Association, 1996, vol. 96, issue 7, pp. 400–402. DOI: 10.7556/jaoa.1996.96.7.400.

<sup>9</sup> Wittner M., Turner J. W., Jacquette G., Ash L. R., Salgo M. P., Tanowitz H. B. *Eustrongylidiasis* – a parasitic infection acquired by eating sushi. *The New England Journal of Medicine*, 1989, vol. 320, p. 112. DOI: 10.1056/NEJM198904273201706.



важливо всебічно вивчати даного паразита, щоб знати про його вплив на організм на різних рівнях організації живої матерії.

## **2. Методи дослідження та аналіз отриманих результатів**

Відбір риби здійснювали впродовж 2020 – 2021 років під час планових контрольованих обловів та аналізу уловів рибалок на місці вилову. Відбір зразків проводили вздовж берегової лінії Дніпровського (Запорізького) водосховища, у нижній частині, в с. Військове та с. Микільське-на-Дніпрі Дніпропетровської області у літньо-осінній період. Клініко-лабораторному дослідженню піддано 146 екземплярів трьох видів хижих риб, а саме: окуня – 81 екз., судака – 53 екз. та щуки – 12 екз.

Вплив паразитів на морфо-структуру внутрішніх органів оцінювали за допомогою виготовлення гістологічних зрізів за класичною методикою. Визначення біохімічних показників крові проводили у 10 інвазованих збудником сустронгелідозу та 10 неінвазованих риб, а саме – окуня, судака. Кількість щук, яких піддали дослідженню була наступною: 5 інвазованих та 5 здорових особин. Риба, яка досліджувалася, була статевозрілою, переважно вікових категорій 3+ – 5+.

Морфологічне дослідження проводили шляхом уважного огляду поверхні луски та шкірних покривів. Звертали увагу на плавці, на кількість слизу, його консистенцію, зміну забарвлення, наявність пухлин, крововиливів, виразок, цист, крупних ектопаразитів, стан очей. Оглядаючи зябра, відмічали форму, структуру зябрових пелюсток, ступінь їхнього ослизнення, колір. Окремо оглядали ротову порожнину.

Паразитологічне дослідження проводили шляхом повного анатомічного розтину риби за класичною методикою. Розтинали черевну порожнину розрізом, який починали від анального отвору та направляли до голови. Препарували та відокремлювали кожен орган.

Кров для дослідження відбирали на місці вилову із серця риби за допомогою голки та шприца в суху пробірку для біохімічного аналізу сироватки. Також відбирали кров для виготовлення мазків та їх подальшого мікроскопування. Підсохлі мазки без фіксації забарвлювали за методом Романовського стандартним розчином Гімзи. Мазки крові досліджували шляхом мікроскопії при збільшенні об'єктиву 40x. В якості контролю використали мазки крові неінвазованих риб. Продивлялись 30 полівзору в кожному мазку.

Для оцінки різниці між вибірками використовували  $t$  – критерій Ст'юдента при рівні значень  $p \leq 0,05$ . Результати досліджень представлено у вигляді середніх значень та стандартних помилок  $M \pm m$ .

Наші дослідження гістоструктури, форми, морфологічних показників формених елементів та біохімічного аналізу крові здійснили при наступних показниках зараження. Середня інтенсивність інвазії у

окуня становила  $14,4 \pm 3,12$  екз/рибу, у судака –  $13,8 \pm 2,9$  та щуки –  $2,6 \pm 4,3$  нематодою *Eustrongylides excisus*.

Круглих черв'їв ниткоподібної форми – паразитичних нематод *Eustrongylides excisus* червоного кольору, при паразитологічному розтині риб, знаходили на стінках черевної порожнини риб, на поверхні органів як у вільному стані так і капсульовано.

Даний паразит має приблизно однакову товщину тіла і, у нашому випадку, довжина його тіла коливалась в межах від 2 до 3,5 см. Передній і задній кінець загострені, має досить міцні покриви тіла. У печінці та у м'язах виявили личинок, які по одній особині скручувались у плоску спіраль формуючи при цьому широке кільце діаметром близько 0,5 – 1 см.

Так як паразит був локалізований у паренхіматозних органах ми дослідили, які структурні гістологічні зміни відбулися у них. Для порівняння ми відбирали на аналіз внутрішні органи риб, які не були інвазовані *E. excisus*.

При опрацюванні гістологічних препаратів м'язової тканини у контролі помітно, що м'язові волокна досить щільно прилягають один до одного, формуючи чітку поперечна смугастість. Візуально м'язові волокна мали майже однакову товщину і довжину.

У м'язах інвазованих риб спостерігали розриви тканини та зони некрозу, які зумовлені міграцією паразитів. Також виявлено розпушеність м'язової тканини при чому добре помітні збільшення відстані між окремими волокнами. Крім того, в уражених зонах наявний кров'яний стаз у судинах, який міг бути спричинений закупоркою судин капсулами личинок. На окремих препаратах можна спостерігати фрагменти паразита та зони некрозу навколо нього у м'язовій тканині заражених риб.

При розтині заражених окунів, судаків та щук ми знайшли личинок *E. excisus*, які були капсульовані у печінці. Вони мали вигляд круглих плоских дисків діаметром 5 – 5,5 мм. Такі капсули формували значні заглиблення у тканині печінки, що значною мірою призвело до зміни форми поверхні органу. Візуально за кольором печінка здорових та заражених риб відрізнялась. У здорових риб печінка мала насичений коричнево-червоний колір, щільна, тоді як у інвазованих риб – бліда та дещо пухка.

При порівнянні гістологічних препаратів ми виявили, що у здорових риб гепатоцити мають майже однакові розміри, цілісну плазматичну мембрану, ядро займає чітке, майже центральне положення. В печінці добре видимі печінкові долі через які проходять кровеносні судини заповнені форменими елементами. У інвазованих риб гепатоцити слабко профарбовані, можливо через надмірне накопичення ліпідів, внаслідок чого печінка бліда і менш щільна, ніж у контролі. Це могло бути

спричинено погіршенням метаболічних функцій даного органу. На препаратах також помітні зони некрозу на шляху міграції личинок та в місцях локалізації капсул. При цьому в місцях, де локалізувався паразит, добре помітні патологічні зміни мікроструктури печінки – гіперплазія гепатоцитів та каріолізіс.

Гістологічні препарати нирок показали наступне. У неінвазованих риб ниркові каналі утворені клітинами однакового розміру, які щільно прилягають одна до одної, плазматична мембрана не пошкоджена, добре проглядаються ядра. Тоді як у заражених риб знову наявні розриви тканин та зони некрозу внаслідок міграції личинок. Крім того спостерігали порушення поверхні епітеліальних клітин ниркових каналців, вогнища запалення, крововиливи, гіперплазія та каріолізіс в окремих клітинах.

Таким чином стає зрозуміло, що паразит *Eustrongylides excisus*, перебуваючи на личинковій стадії у тілі свого другого проміжного господаря–риб, викликає не лише механічне (розриви тканин, крововиливи), але й токсичне пошкодження внутрішніх органів, про що свідчать явища гіперплазії, каріолізісу та деструкції клітин.

Дослідження форми та морфологічних показників формених елементів у заражених особин окуня, судака та щуки показали наступне. Більшість еритроцитів дослідних риб мали еліпсоїдну форму з чітко вираженою оболонкою. Є наявність невеликої кількості молодих форм еритроцитів. Ядро овальної форми, розміщувалось по центру, чітко виражене. Загальна кількість еритроцитів становила у окуня  $97,2 \pm 4,02$  штук у полі зору, у судака –  $92,41 \pm 1,23$  шт. п.з., у щуки –  $95,2 \pm 5,14$  шт. п.з. Поздовжній і поперечний діаметри в середньому дорівнювали  $11,24 \pm 0,24$  та  $5,9 \pm 0,38$  мкм у окуня,  $11,84 \pm 0,09$  та  $5,62 \pm 0,07$  мкм у судака,  $12,11 \pm 0,63$  та  $5,15 \pm 1,87$  мкм у щуки відповідно, що відповідає фізіологічним нормам у кісткових риб.

Відсоток зрілих еритроцитів у мазках крові інвазованих риб знаходився в межах 89%, а молодих – 11%. При дослідженні мазків крові судака також виявлені зміни форми еритроцитів. Дана патологія може свідчити про зниження еластичності плазматичної мембрани. Тому можна зробити припущення, що у досліджених екземплярів риб спостерігається порушення осмотичної резистентності мембрани еритроцитів у легкій формі, тобто, не можна виключати оборотність даного процесу.

Лейкоцити крові риб становлять менш однорідну, в порівнянні з еритроцитами, групу клітин з більшим різноманіттям лінійних розмірів, різноманітною структурою ядра, цитоплазми і, навіть, клітинної оболонки. Лімфоцити – клітини крові риб, які становлять близько 99% лейкоцитарного ряду.

В дослідних мазках крові всіх здорових та інвазованих риб лімфоцити мали дуже велике ядро, яке займає майже весь об'єм клітини. Загальна кількість лейкоцитів в полі зору становить  $12,11 \pm 1,65$  штук у окуня,  $13 \pm 1,25$  шт./п.з. у судака та  $11,3 \pm 0,83$  шт./п.з. у щуки.

Важливим показником стану риб є відношення клітин лейкопоезу та еритропоезу. У дорослих риб лейкоеритробластичне співвідношення знаходилось в межах 25–35%. В дослідних зразках лейкоеритробластичне співвідношення становило  $8,03 \pm 0,56$  у окуня,  $7,12 \pm 0,08$  у судака та  $8,42 \pm 0,64$  у щуки, що значно менше норми. Тому можна зробити припущення, що при ураженні окунів, судаків та щук личинками *Eustrongylides excisus* спостерігається зниження функцій імунітету через зменшення кількості клітин лімфоїдного ряду. Також на неоднорідність експериментальних даних про кількість лейкоцитів в кров'яному руслі може свідчити той факт, що лейкоцити легко мігрують із кровоносної системи в лімфатичну і навпаки, а також локалізуються у місцях запалення, яких при розтині інвазованих риб виявлено досить багато.

Як відомо паразити доволі специфічно впливають на імунну систему хазяїна – призводять до імуносупресій та вторинних імунодефіцитів<sup>10</sup>. Тому, можна припустити, що через значне механічне пошкодження тканин у заражених паразитом риб, запальні процеси можуть протікати з ускладненням, через проникнення патогенних мікроорганізмів у місцях пошкодження. Оскільки уражені зони є «воротами» інфекції.

У клітинах еритроїдного ряду інвазованих особин окунів, судаків та щук відмічено ще й низький показник молодих форм еритроцитів та виявлено зниження еластичності еритроцитарної оболонки у заражених судаках. Каріолізу, каріопікнозу, аміотичного ділення еритроцитів не виявлено.

При біохімічному аналізі сироватки крові хижих риб, які були заражені личинками *E. excisus* ми виявили значне зниження загального білку. Так у групі інвазованих окунів показник загального білку становила  $47,31 \pm 1,63$  г/л, що в 1,46 разів менше, ніж у контрольній групі ( $68,9 \pm 1,02$  г/л). У заражених судаків даний показник менший у 1,59 разів, ніж у контролі ( $71,3 \pm 1,72$  г/л), а у інвазованих щук даний показник зменшився у 1,35 разів (порівняно з контрольною групою –  $46,23 \pm 1,03$  г/л). Загалом, вміст загального білку в сироватці інвазованих риб (окунів, судаків та щук), у порівнянні з контролем був достовірно нижчим на 21,29, 26,37 та 12,02 г/л відповідно. Тому стає очевидно, що паразитарна інвазія у хижих риб значною мірою позначається на білоксинтезуючій системі гепатопанкреасу риб, що в свою чергу призводить до порушення білкового обміну та метаболізму в цілому.

---

<sup>10</sup> Soylu, E. (2013). Metazoan Parasites of Perch *Perca fluviatilis* L. From Lake Siğirci, Ipsala, Turkey. Pakistan J. Zool., 45 (1), 47–52.

Також виявили зниження вмісту альбумінів та глобулінів у сироватці крові інвазованих хижих риб. Так вміст альбумінів у заражених окунів, судаків та щук, у порівнянні з контролем був достовірно нижчим на 9,8, 8,8 та 8,2 г/л відповідно. Загальний вміст глобулінів у дослідній групі окунів знизився у 1,14г/л (у порівнянні із контролем –  $31,4 \pm 0,71$  г/л), у дослідній групі судаків даний показник знизився в 1,24 рази (у порівнянні із контролем –  $43,2 \pm 0,17$  г/л) та у дослідних щук – в 1,28 разів (у контролі показник глобулінів становить  $25,3 \pm 0,39$  г/л).

При аналізі вмісту глюкози в сироватці дослідних груп риб також виявили зниження даного показника. Вміст глюкози у інвазованих окунів становив  $10,7 \pm 2,03$  ммоль/л, що менше, ніж у контролі в 1,23 рази, у дослідній групі судаків вміст глюкози знаходився на рівні  $9,71 \pm 0,82$  ммоль/л, що менше, ніж у контрольній групі у 2,04 рази, у групі заражених щук вміст глюкози –  $5,66 \pm 1,93$  ммоль/л, що менше, ніж у контролі у 2,8 рази.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що заражені риби відчувають значний вплив паразитів на свій організм, що в свою чергу позначається на їх активності та здатності до полювання. Крім цього, зниження рівня глюкози може свідчити про недостатню вгодованість риб, що може позначитись на темпах розвитку. Також зниження даного показника може вказувати на порушення енергетичного обміну, тому дане питання потребує більш поглибленого дослідження.

Отже, аналізуючи всі отримані результати можна стверджувати, що паразитарна інвазія спричинена нематодами *Eustrongylides excisus* чинить комплексний глибокий патологічний вплив на організм хазяїна. Продукти життєдіяльності личинок нематоди *E. excisus* негативно впливають на стан організму свого хазяїна порушуючи метаболізм та викликаючи незворотні деструктивні процеси. Еустронгелідос спричинює не лише механічні пошкодження тканин та органів, некрози та запальні процеси, а й викликає порушення біохімічних процесів, що призводить до зниження імунітету риб та порушення білкового обміну.

## ВИСНОВКИ

1. За результатами морфологічного аналізу відмінностей між інвазованими та здоровими рибами виявлено не було.

2. Паразитологічний розтин та гістологічний аналіз свідчать, що перебування паразита на личинковій стадії в організмі інвазованих риб викликає не лише механічне (розриви тканин, крововиливи), але й токсичне пошкодження внутрішніх органів, про що свідчать явища гіперплазії, каріолізу та деструкції клітин у досліджених органах та тканинах.

3. Морфологічний аналіз формених елементів крові відповідає фізіологічним нормам у кісткових риб.

4. Зафіксовано зменшення кількості клітин лімфоїдного ряду у окуня, судака та щуки.

5. Біохімічний аналіз крові показав зниження загального білку, вмісту альбумінів і глобулінів та вмісту глюкози в сироватці дослідних груп риб, що свідчить про значний вплив паразита на організм хижих риб.

## АНОТАЦІЯ

На сьогоднішній день паразитична нематода *Eustrongylides excisus* розширює коло своїх хазяїв та є небезпечним паразитом для людського організму. Зафіксовані випадки зараження не лише риб, а й плазунів. Тому надзвичайно важливо знати комплексний вплив даного паразиту на організм хазяїна для обґрунтування ефективних заходів профілактики та боротьби з даною інвазією. У роботі представлено патогенез паразитарної інвазії, спричиненої *E. excisus*, в організмі хижих риб Дніпровського (Запорізького) водосховища. Встановлено, що при еустронгелідозі у заражених риб розвивається глибокий патологічний вплив паразиту на організм хазяїна на різних рівнях його організації: молекулярному, клітинному, тканинному та організмовому.

## Література

1. Branciarri, R., Ranucci, D., Miraglia, D., Valiani, A., Veronesi, F., Urbani, E., Lo Vaglio, G., Pascucci, L., & Franceschini, R. (2016). Occurrence of parasites of the genus *Eustrongylides* spp. (Nematoda: Dioctophymatidae) in fish caught in Trasimeno lake, Italy. *Italian Journal of Food Safety*, 5 (4), 206–209. doi:10.4081/ijfs.2016.6130.

2. Cole R. *Field Manual of Wildlife Diseases. General Field Procedures and Diseases of Birds*. 2013. P. 223–228.

3. Soylu E. Metazoan parasites of perch *Perca fluviatilis* L. from lake Sığircı, Ipsala, Turkey. *Pakistan Journal of Zoology*, 2013, vol. 45, issue 1, pp. 47–52. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/acd4/e2ae9ea246e40170afada08de37b53444f20.pdf>

4. Yesipova N. B. The spread of parasitic nematodes in fish *Eustrongylides excisus* Zaporozhye (Dnipro) reservoir. *Modern probl. of theor. and pract. ichthyology: materials of VI International Ichthyological Sci. And Pract. Conf.*, Ternopil, 2013, pp. 86–88.

5. Гончаров С. Л. Асоціація еустронгелідозу з іншими паразитарними інвазіями хижих риб природних водойм півдня України. Національний університет біоресурсів і природокористування України, <https://doi.org/10.15407/animbiol.21.04.022>, м. Київ, 2022.

6. Гончаров С. Л. Поширення нематоли *Eustrongylides excisus* Jägerskiöld, 1909, – larvae (Nematoda: Dioctophymatidae) серед тарапі (*Rutilus rutilus*, Linnaeus 1758) у Дніпро – Бузькому лимані півдня України.

Scientific Messenger LNUVMB. Series: Veterinary sciences, 2020, vol. 22, no 97.

7. Narr L. L., O'Donnell J. G., Libster B., Alessi P., Abraham D. Eustrongylidiasis – a parasitic infection acquired by eating live minnows. The Journal of the American Osteopathic Association, 1996, vol. 96, issue 7, pp. 400–402. DOI: 10.7556/jaoa.1996.96.7.400.

8. Wittner M., Turner J. W., Jacquette G., Ash L. R., Salgo M. P., Tanowitz H. B. Eustrongylidiasis – a parasitic infection acquired by eating sushi. The New England Journal of Medicine, 1989, vol. 320, p. 112. DOI: 10.1056/NEJM198904273201706.

9. S. V. Yermolenko, V. A. Gasso, A. M. Hahut, V. A. Spirina. Infection of Dice snake, *Natrix Tessellata* (Reptilia, Colubridae), with Eustrongylides excises (Nematoda, Dioctophymatidae) in the middle and lower Dnipro river basin, Zoodiversity, 56(4):341-348, 2022, DOI 10.15407/zoo2022.04.341, p.343 – 348.

10. Soylyu E. Metazoan Parasites of Perch *Perca fluviatilis* L. From Lake Sığircı, Ipsala, Turkey. Pakistan J. Zool., 2013. 45 (1), 47–52.

**Information about the authors:**

**Sydorenko Victoriia Stanislavivna,**

Postgraduate Student at the Department of General Biology  
and Aquatic Bioresources  
Faculty of Biology, Ecology and Medicine  
Oles Honchar Dnipro National University  
72, Gagarin ave., Dnipro, 49000, Ukraine

**Marenkov Oleg Mykolaiovych,**

Candidate of Biological Sciences,  
Associate professor at the Department of General Biology  
and Aquatic Bioresources  
Vice-rector for scientific work  
Oles Honchar Dnipro National University  
72, Gagarin ave., Dnipro, 49000, Ukraine

**Yerukh Mykola Mykolaiovych,**

Director of the Scientific and Educational Complex «Aquarium»,  
Postgraduate student at the Department of General Biology  
and Aquatic Bioresources  
Faculty of Biology, Ecology and Medicine  
Oles Honchar Dnipro National University  
72, Gagarin ave., Dnipro, 49000, Ukraine

## ЛІТІЙ У ПРИРОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ТРОФІЧНОМУ ЛАНЦЮЗІ

Соболєв О. І., Петришак Р. А., Наумюк О. С.

### ВСТУП

Літій за геохімічними властивостями належить до великоіонних літофільних елементів. Залежно від фізико-хімічних умов мінерало- і літогенезу літій може проявляти різні властивості, що визначає різноманіття шляхів його міграції в літосфері, гідросфері та атмосфері. Характер і форма міграції літію у природному середовищі обумовлені не тільки його хімічними властивостями, а й складною сукупністю реакцій взаємодії з різноманітними адендами підземних вод, гранулометричним і хіміко-мінералогічним складом ґрунтоутворюючих порід і ґрунтів, біогенними та техногенними процесами. Вміст літію у природних водах, ґрунтах та рослинах може коливатися в досить широких межах і залежить від багатьох чинників. Зокрема, концентрація його у підземних і поверхневих водах залежить від природного геологічного середовища, тиску, температури, метеорологічних і антропогенних факторів; у ґрунтах – від їх типу, регіону, особливостей ґрунтоутворюючих процесів, хімічного складу материнських порід, кліматичних умов та кількості органічної речовини; у рослинах – від їх видової та сортової приналежності, стадії росту самої рослини, забезпеченості ґрунтів цим елементом, форми літєвих сполук у ґрунтах (неорганічна чи органічна), здатності ґрунтів зберігати лабільні форми літію та кліматичних умов.

Аналіз фактичного вмісту літію в раціонах харчування свідчить про недостатній рівень забезпеченості організму людини цим мікроелементом, через низькі концентрації його в продуктах харчування та воді.

В Україні до цього часу не проводився комплексний екологіко-токсикологічний аналіз рівнів та закономірностей міграції літію у природному середовищі та трофічному ланцюзі. Подальші наукові дослідження з цього питання необхідні передусім для мінімізації негативних наслідків для здоров'я людей, пов'язаних з небезпечними концентраціями літію у продуктах харчування та воді окремих регіонів.

### 1. Історія відкриття літію

За класифікацією, що ґрунтується на біологічній ролі для живих організмів та широко використовується у біохімії та фізіології, літій



відноситься до групи умовно-есенціальних елементів<sup>1,2</sup>. Проте, сьогодні він розглядається вченими як «серйозний кандидат на есенціальність»<sup>3</sup>.

Як біотичний елемент він має цікаву історію, і ця історія ще далеко не закінчена. Літій був відкритий шведським хіміком і мінералогом Юханом Августом Арфведсоном у 1817 році. Під час проведення повного аналізу мінералу петаліт  $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$  у Стокгольмському університеті він виділив із нього «вогнепостійний луг досі невідомої природи» (це був гідроксид літію). Його вчитель Йенсом Якобі Берцеліус запропонував назвати його літіоном (Lithion), оскільки цей луг уперше був виявлений у «царстві» каменів (з греч. Lithos – камінь). Незабаром після відкриття, літій бу виявлений і в інших мінералах, а також у мінеральних джерелах Карлсбада, Марієнбада та Віші. Спроби А. Арфведсона виділити у чистому вигляді літій у той час не увінчалися успіхом. У 1818 році англійський хімік Гемфрі Деві отримав із «літіона» новий метал, який назвав літієм<sup>4</sup>. Інший англійський хімік – Вільям Томас Бранде у 1821 вперше виділив металевий літій шляхом електролізу його гідроксиду, але в незначній кількості. І тільки у 1855 році відомий німецький хімік Роберт Вільгельм Бунзен отримав металевий літій шляхом електролізу розплаву літію хлориду, у кількостях, достатніх для вивчення властивостей металу. У промисловому масштабі, літій був уперше випущений у 1923 році німецькою компанією Metallgesellschaft AG<sup>5</sup>.

У наступні роки вченими виконано значний обсяг робіт щодо подальшого вивчення розподілу літію у навколишньому природному середовищі, біологічної ролі та механізму дії його на живі організми.

## 2. Фізико-хімічні властивості літію

Одержати повне наукове уявлення щодо особливостей біоаккумуляції та біологічної дії літію на живий організм імовірно не можливо без урахування його фізико-хімічних властивостей та положення у періодичній системі хімічних елементів Д.І. Менделєєва. Літій – 3-й хімічний елемент I групи, 2 періоду (головної підгрупи) періодичної системи, з відносною атомною масою 6,941, лужний метал. Атомний та

---

<sup>1</sup> A review on role of essential trace elements in health and disease / L. Prashanth et. al. *Journal Dr.NTR University of Health Sciences*. 2015. Vol. 4, № 2. P. 75–85. DOI: 10.4103/2277-8632.158577

<sup>2</sup> Левітін Є.Я., Ведерникова І.О., Коваль А.О., Криський О.С. Біоактивність неорганічних сполук: навч. посіб. для аудит. та самост. роботи студентів. Харків : НФаУ, 2017. 83 с.

<sup>3</sup> Bauer M., Gitlin M. Lithium and Its History. *The essential guide to lithium treatment*. Springer Cham, 2016. P. 25–31. DOI: 10.1007/978-3-319-31214-9\_3.

<sup>4</sup> Grew E., Jonsson E., Langhof J. Lithium – 200 years: Symposium and field trip June 14–16, 2018. *Elements*. 2018. Vol. 14, № 4. P. 284.

<sup>5</sup> Mohandas E., Rajmohan V. (2007). Lithium use in special populations. *Indian Journal of Psychiatry*. 2007. Vol. 49, № 3. P. 211–218. DOI: 10.4103/0019-5545.37325.

іонний радіус становлять відповідно, 0,157 та 0,068 нм. Енергія іонізації – 5,39 еВ. Електронегативність за Полінгом – 0,98. Температура плавлення та кипіння 180,5 та 1340,0 °С, відповідно. Густина – 0,539 г/см<sup>3</sup>. Колір – сріблясто-білий. Низький іонний потенціал літію (1,47), що обумовлений малим розміром іонного радіусу і зарядом іона, свідчить про його високу розчинність. Будучи катіоногенним елементом, літій у водних розчинах найчастіше утворює прості вільні катіони з низьким зарядом. Металевий літій має кубічну об'ємно-центровану кристалічну ґратку.

Атом літію містить 3 протони та 4 нейтрони. У атомі літію є два енергетичні рівні, на яких знаходяться 3 електрони. Електронна формула атома літію має вигляд  $1s^2 2s^1$ . На зовнішній електронній оболонці атома літію 1 неспарений електрон (що зумовлює валентність рівну +1), а на внутрішній – 2 електрони. Валентність літію постійна в усіх відомих сполуках<sup>6, 7</sup>. Численні біологічні функції літію, вчені пов'язують з його маленьким іонним радіусом<sup>8</sup>.

### 3. Розподілення літію у природному середовищі

Згідно сучасної біогеохімічної класифікації елементів літій відноситься до групи літофільних елементів, які утворили земну кору і верхню мантію. У зв'язку з високою реакційною здатністю, літій не зустрічається у природі в елементарній формі. Відомо більш як 100 мінералів (силікатів, фосфатів, фторидів та ін.), що включають літій, але промислово та економічно значення мають лише декілька: сподумен –  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  (3,7 % Li), лепідоліт –  $\text{K}_2(\text{Li,Al})_{5-6}\{\text{Si}_{6-7}\text{Al}_{2-1}\text{O}_{20}\}(\text{OH,F})_4$  (1,4–3,6 % Li), петаліт –  $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$  (1,6–2,3 % Li), евкріптіт –  $\text{LiAl}[\text{SiO}_4]$  (2,1–5,5 % Li), амблігоніт –  $\text{LiAl}[\text{PO}_4][\text{F,OH}]$  (3,4–4,7 % Li), гекторіт –  $\text{Na}_{0,3}(\text{Mg,Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  (0,5 % Li), джадаріт –  $\text{LiNaSi}_3\text{B}_3\text{O}_7(\text{OH})$  (7,3 % Li)<sup>9</sup>. Саме вони формують промислові родовища літію у гранітоїдах, пегматитах та грейзенізованих гранітах. Крім того, підвищені концентрації літію характерні для таких мінералів як, глауконіт, біотит, турмалін, флогопіт, маргарит, берил<sup>10</sup>.

Природний літій складається з двох стабільних ізотопів, з такою розповсюдженістю: <sup>6</sup>Li (7,5 % за масою) і <sup>7</sup>Li (92,5 %). У деяких зразках літію ізотопне співвідношення може бути порушено внаслідок

<sup>6</sup> Johanson P. Lithium. New York: Rosen Publishing Group, 2007. 48 p.

<sup>7</sup> Meyer J., Stahl S. The Lithium Handbook: Stahl's Handbooks (Stahl's Essential Psychopharmacology Handbooks). Cambridge: Cambridge University Press, 2023.

<sup>8</sup> Lithium toxicity in plants : reasons, mechanisms and remediation possibilities – a review / V. Shahzad et al. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016. Vol. 107. P. 105–115. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.034.

<sup>9</sup> Mineral profiles: Lithium. British Geological Survey Keyworth, Nottingham, UK, 2016. 39 p.

<sup>10</sup> Жук О.А., Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Основні закономірності розподілу літію у ґрунтах УЩ. *Геохімія та рудоутворення*. 2010. Вип. 28. С. 130–132.

природного або штучного фракціонування ізотопів (відповідно 3,75 та 96,25 %). Також відомо ще сім короткоживучих штучних радіоактивних ізотопів літію, з різними періодами напіврозпаду (від мс і менше), в діапазоні масових чисел від 4 до 12<sup>11</sup>.

Літій відноситься до групи розсіяних елементів. Масова частка його у земній корі за різними оцінками становить, %:  $(1,7-2,0) \cdot 10^{-312}$ ;  $3,0 \cdot 10^{-3}$  та  $(5,0-6,5) \cdot 10^{-313}$ . Кларк літію у живій речовині, за розрахунками В. І. Вернадського, становить  $6,0 \cdot 10^{-5}$  %. Низький кларк літію пов'язують з аномально високим значенням дефекту мас атомного ядра елемента. Концентрація літію в природних водах варіює залежно від геології, топографії, гідрогеології та інших змінних. Так, діапазон концентрацій літію у морській воді становить від 0,17 до 11,7 мг/л, у прісній воді – від 0,001 до 0,020 мг/л<sup>14</sup>. Низькі концентрації літію ( $2 \text{ нг/м}^3$ ) виявлені у повітрі<sup>15</sup>. По окремих регіонах світу, максимальні значення цього показника коливаються від 2,3 до 8,9 нг/м<sup>316</sup>.

Відомо, що переміщення хімічних елементів у біосфері відбувається за схемою: ґрунт – вода – рослина – тваринні організми – людина. Цей послідовний шлях міграції складає трофічний ланцюг, котрий ми і розглянемо, щоб одержати повне уявлення про біологічні функції, особливості накопичення і розподілення та значення літію для живих організмів. Згідно геохімічної класифікації елементів за особливостями їх міграції в ландшафтах, запропонованої О.І. Перельманом, літій відноситься до слабо рухливих елементів, які мігрують як у газоподібному стані, так і з водними розчинами<sup>17</sup>. Розподілення літію у ґрунтах, воді, рослинах, продукції тваринництва та птахівництва, організмі людини, у різних регіонах світу відзначається великою різноманітністю<sup>18</sup>.

---

<sup>11</sup> Munteanu C. Lithium biology. București: Editura Balneară, 2013. 104 p.

<sup>12</sup> Evans R.K. Lithium. *Critical metals handbook*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, Ltd, 2014. P. 230–260. DOI: 10.1002/9781118755341.

<sup>13</sup> Mueller R., Betz L., Anke M. Essentiality of the ultra trace element lithium to the nutrition of animals and man. *Proceedings of the 30 Scientific symposium of industrial toxicology*. Slovakia: Slovenska spolocnost priemyselnej chemie, 2010. P. 134–143.

<sup>14</sup> Potential health benefits of deep sea water : a review / S.Z. Mohd Nani et. al. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicin*. 2016. Vol. 2016. P. 6520475. DOI: 10.1155/2016/6520475.

<sup>15</sup> Schäfer U. Lithium. Elements and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004. P. 478–496. DOI: 10.1002/9783527619634.ch23a.

<sup>16</sup> Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace Elements from Soil to Human. Heidelberg: Springer Berlin, 2007. 550 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1.

<sup>17</sup> Геохімія довкілля: навч. посібник / Н.Т. Тверезовська та ін. Ніжин; Боярка: Видавець Лисенко М.М., 2015. 403 с.

<sup>18</sup> Is lithium biologically an important or toxic element to living organisms? An overview / B. Shahzad et. al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24, № 1. P. 103–115. DOI: 10.1007/s11356-016-7898-0.

#### 4. Літій у ґрунтах

Залежно від типу та мінерального складу ґрунтоутворювальних порід, наявності аутигенних мінералів, що утворюються в процесі гіпергенезу, окисно-відновних і лужно-кислотних умов, концентрація літію у ґрунтах може значно варіювати. Його середній вміст у магматичних породах рідко перевищує 40–45 мг/кг, а в осадових – 60–75 мг/кг<sup>19</sup>. На території Українського щита вміст літію у магматичних породах зростає від ультраосновних до лужних, а в осадових – від вапняків, до порід зі значним вмістом глинистої складової (аргіліти)<sup>20, 21</sup>.

Ґрунти успадковують рівень концентрації літію у підстилаючих корінних породах. Внаслідок вивітрювання материнських порід, літій порівняно легко вивільняється із первинних мінералів, переходить у рухомі форми і накопичується у глинистих мінералах, що входять до складу гранітів. На акумуляцію та розподілення літію в ґрунтах впливає вміст гумусу та склад глинистих мінералів. Вміст літію у різних ґрунтах і в їх генетичних горизонтах може коливатися в широких межах, за одними даними – від 0,01 до 160 мг/кг<sup>2020</sup>, за іншими – від 7 до 200 мг/кг<sup>22</sup>. Середній вміст літію в ґрунтах зазвичай становить 25–30 мг/кг. Рівень літію у ґрунті також залежить від кислотно-лужних умов. Вчені вважають, що кислі ґрунти сприяють підвищенню розчинності літію. Саме тому, у кислих ґрунтах вміст літію вищий, ніж у лужних<sup>23</sup>.

Проведений українськими вченими моніторинг умісту літію у різних типах ґрунтів, виявив, що у верхньому горизонті (0–10 см) темно-каштанових ґрунтів його валовий вміст становить 6–9 мг/кг, дерново-карбонатних – 10–15, дерново-підзолистих – 15–35, опідзолених чорноземах – 25–35, чорноземах типових – 40–50 мг/кг<sup>24</sup>1010. Розподілення літію по всьому ґрунтовому профілю неоднакове. Його вміст у нижчих горизонтах ґрунтів підвищується<sup>25</sup>. При визначенні

---

<sup>19</sup> Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 403 p.

<sup>20</sup> Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Жук О.А. Геохімічні пошуки за екзогенними сольовими ореолами літію. *Мінералогічний журнал*. 2011. Т. 33, № 3. С. 84–89.

<sup>21</sup> Жук О.А. Геохімічні особливості розподілу літію у сольових ореолах гетерогенного походження. *Геохімія та рудоутворення*. 2013. Вип. 33. С. 81–85.

<sup>22</sup> Schrauzer G.N. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *Journal of the American College of Nutrition*. 2002. Vol. 21, № 1. P. 14–21.

<sup>23</sup> Aral H., Vecchio-Sadus A. Toxicity of lithium to humans and the environmen – a literature review. *Ecotoxicol Environ Safety*. 2008. Vol. 70, № 3. P. 349–356. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.026.

<sup>24</sup> Цвей Я.П., Широконос А.М., Феденко П.Я., Звягінцев С.С. Вміст важких металів на моніторингових ділянках біосферного заповідника «Асканія-Нова». *Наукові записки НАУКМА*. 2001. Т. 19: Біологія та екологія. С. 83–85.

<sup>25</sup> The occurrence of lithium in the environment of the Jordan Valley and its transfer into the food chain / T.G. Ammari et. al. *Environmental Geochemistry and Health*. 2011. Vol. 33, № 5. P. 427–437. DOI: 10.1007/s10653-010-9343-5.

вмісту літію у ґрунтах також встановлено, що на його рухомі форми припадає від 4 до 8 % від валового вмісту.

## 5. Літій у природних водах

Вивчення еколого-гідрогеохімічних особливостей розподілу мікроелементів показало, що літій присутній у поверхневих і підземних водах у всьому світі. Він зазвичай легко переходить у природні води з твердої фракції. Літій знаходиться у воді як у вигляді простих іонів  $\text{Li}^+$ , так і в комплексних сполуках з різними адендами природних вод. З підвищенням мінералізації води, відмічається тенденція до зниження частки простих іонів  $\text{Li}^+$  і збільшення частки комплексних сполук. Літій у природних водах розглядається, передусім як один з дефіцитних рідкісних металів<sup>26</sup>.

Як відомо мікроелементний склад природних вод корелює з його вмістом у тих породах, по яких вони циркулюють. Тому, вміст літію у воді обумовлений фізико-хімічними умовами середовища і переходом його з породи у розчин, в наслідок розчинності багатьох літєвих сполук. Концентрації літію в поверхневих і підземних водах можуть бути вищими за природний фон у місцях, де зустрічаються багаті літєм розсоли та мінерали, а також у місцях, де утилізуються або переробляються літєві батареї.

Концентрація літію у поверхневих водах зазвичай низька. Так, у найбільших річках США середній вміст літію становить близько 2 мг/л<sup>27</sup> і варіює від 0,26 до 4,16 мг/л<sup>28</sup>. Проте, ці ж вчені зазначають, що середня концентрація літію у поверхневих водах може становити 40 мг/л і більше<sup>29</sup>. Результати одержані при вивченні концентрації мікроелемента у поверхневих водах південного сходу Ірландії підтверджують цей висновок. Вчені встановили варіабельність рівнів літію упродовж року в діапазоні від 20 до 91 мг/л<sup>30</sup>.

У світі існують території, поверхневі води яких містять високі рівні літію. Природні розсоли з високим вмістом літію знаходяться на півночі

---

<sup>26</sup> Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters. *Treatise on Geochemistry*. 2003. Vol. 5. P. 225–272. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/05165-3.

<sup>27</sup> Kszos L.A., Beauchamp J.J., Stewart A.J. Toxicity of lithium to three freshwater organisms and the antagonistic effect of sodium. *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12, № 5. P. 427–437. DOI: 10.1023/A:1026160323594.

<sup>28</sup> Anderson M.A., Bertsch P.M., Miller W.P. The distribution of lithium in selected soils and surface waters of the southeastern USA. *Applied Geochemistry*. 1988. Vol. 3, № 2. P. 205–212. DOI: 10.1016/0883-2927(88)90008-X.

<sup>29</sup> Kszos L.A., Stewart A.J. Review of lithium in the aquatic environment: distribution in the united states, toxicity and case example of groundwater contamination. *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12, № 5. P. 439–447. DOI: 10.1023/A:1026112507664.

<sup>30</sup> Lithium in the natural waters of the south East of Ireland / L. Kavanagh et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 4, № 6. P. 561. DOI: 10.3390/ijerph14060561.

Чилі (1400–1500 мг/л)<sup>31</sup>, у Китаї (560–1300 мг/л)<sup>32</sup>, Болівії (700–900 мг/л)<sup>33</sup> і Аргентині (520–620 мг/л)<sup>34</sup>. Озера, ропа яких містить нижчі концентрації літію (200 мг/л) розташовані в США<sup>35</sup>.

Високим вмістом літію (0,08–0,14 мг/дм<sup>3</sup>) характеризуються також поверхневі води техногенно-забруднених територій<sup>36</sup>. Зокрема, у результаті надходження у річкові екосистеми Донбасу (Україна) значних обсягів скидних шахтових вод максимальні концентрації літію у річках можуть досягати 11,8–13,7 мг/л<sup>37</sup>. За висновками вчених, хімічний склад поверхневих вод, що знаходяться в умовах техногенного навантаження, не сприяє їх безпечному використанню, як джерел питного водопостачання.

У ґрунтових водах концентрація літію вища, ніж у поверхневих і зазвичай коливається в межах від 0,05 до 150 мкг/л<sup>38</sup>. Проте, у деяких географічних регіонах Австрії, Аргентини та Чилі були зареєстровані високі концентрації літію (більше 1000 мкг/л) у ґрунтових водах<sup>39, 40</sup>. У літературі є повідомлення, що ґрунтові води помірних вологих областей містять літію менше, ніж жарких засушливих.

Дані отримані вченими з різних країн свідчать, що концентрація літію у воді, яка використовується для пиття, неоднакова. Так, уміст літію у питній воді окремих районів Австрії коливається в межах 4,0–

---

<sup>31</sup> Ogawa Y., Koibuchi H., Suto K., Inoue C. Effects of the chemical compositions of salars de Uyuni and Atacama Brines on lithium concentration during evaporation. *Resource Geology*. 2014. Vol. 64, № 2. P. 91–101. DOI: 10.1111/rge.12030.

<sup>32</sup> Song J., Nghiem L.D., Xue-Mei L., Tao H. Lithium extraction from chinese salt-lake brines : opportunities, challenges, and future outlook. *Environmental Science : Water Research Technology*. 2017. Vol. 3, № 4. P. 593–597. DOI: 10.1039/C7EW00020K.

<sup>33</sup> Recovery of lithium from Uyuni salar brine / J.W. An et. al. *Hydrometallurgy*. 2012. Vol. 117–118. P. 64–70. DOI: 10.1016/J.HYDROMET.2012.02.008.

<sup>34</sup> Warren J.K. *Evaporites : a geological compendium*. Springer Cham, 2016. 1813 p. DOI: 10.1016/J.HYDROMET.2012.02.008.

<sup>35</sup> Global lithium resources : relative importance of pegmatite, brine and other deposits / S.E. Kesler et. al. *Ore Geology Reviews*. 2012. Vol. 48. P. 55–69. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2012.05.006.

<sup>36</sup> Удалов І.В. Гідрохімічна характеристика поверхневих та ґрунтових вод Лисичанського та Алмазно-Мар'євського геолого-промислових районів північно-східного Донбасу. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Геологія. Географія*. 2014. Т. 22, вип. 16. С. 188–197.

<sup>37</sup> Онищенко В.І. Вплив скидних шахтових вод на річкові екосистеми Донбасу. *Екологія та ноосферологія*. 2006. Вип. 17, т. 1–2. С. 61–68.

<sup>38</sup> Lithium levels in the public drinking water supply and risk of suicide : a pilot study / V. Liaugaudaite et. al. *Journal of trace elements in medicine and biology*. 2017. Vol. 43. P. 197–201. DOI: 10.1016/j.jtemb.2017.03.009.

<sup>39</sup> High-level exposure to lithium, boron, cesium, and arsenic via drinking water in the andes of Northern Argentina / G. Concha et. al. *Environmental Science Technology*. 2010. Vol. 44, № 17. P. 6875–6880. DOI: 10.1021/es1010384.

<sup>40</sup> Lithium in drinking water and suicide mortality / N.D. Kapusta et. al. *The British Journal of Psychiatry*. 2011. Vol. 198, № 5. P. 346–350. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.091041.

16,0 мкг/л (медіана 11,3 мкг/л)<sup>41</sup>; Греції – 0,1–121,0 (медіана 11,10)<sup>42</sup>; Данії – 0,6–30,7 (медіана 11,6)<sup>43</sup>; Італії – 0,11–60,80 (медіана 11,10)<sup>44</sup>; Китаю – 0,14–110,80<sup>45</sup>; Литви – 0,48–35,53 (медіана 3,60); Македонії – 0,11–5,20 (медіана 1,21)<sup>46</sup>; Північної Англії – 1,0–21,0<sup>47</sup>; Техасу 2,8–219,0<sup>48</sup>; України – 0–50,0<sup>49</sup>; Японії – 0–59,0 мкг/л<sup>50, 51, 52</sup>. Слід також відзначити, що сьогодні у національних стандартах багатьох країн світу відсутні гранично допустимі концентрації літію у питній воді.

Моніторинг літію у питних водах, розлитих у пляшки показав, що його концентрація має великий діапазон коливань, з варіаціями у чотири-п'ять порядків. Так, при дослідженні 132 марок бутильованої води із 28 країн світу встановлено, що вміст літію у пробах коливався від 0,057 до 5460 мкг/л (медіана 4,8 мкг/л). Найвища концентрація літію (5460 мкг/л) була виявлена в пляшці води з Франції. Дещо нижчі

---

<sup>41</sup> Helbich M., Blüml V., Leitner M., Kapusta, N.D. Does altitude moderate the impact of lithium on suicide? A spatial analysis of Austria. *Geospatial Health*. 2013. Vol. 7, № 2. P. 209–218. DOI: 10.4081/gh.2013.81.

<sup>42</sup> Giotakos O., Nisianakis P., Tsouvelas G., Giakalou, V.V. Lithium in the public water supply and suicide mortality in Greece. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 156, № 1–3. P. 376–379. DOI: 10.1007/s12011-013-9815-4.

<sup>43</sup> Lithium in drinking water and incidence of suicide : a nationwide individual-level cohort study with 22 years of follow-up / N.N. Knudsen et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 14, № 6. E627. DOI: 10.3390/ijerph14060627.

<sup>44</sup> Relationships of local lithium concentrations in drinking water to regional suicide rates in Italy / M. Pompili et. al. *World Journal of Biological Psychiatry*. 2015. Vol. 16, № 8. P. 567–574. DOI: 10.3109/15622975.2015.1062551.

<sup>45</sup> Liu Y., Yuan Y., Luo K. Regional Distribution of Longevity Population and Elements in Drinking Water in Jiangjin District, Chongqing City, China. *Biological trace element research*. 2018. Vol. 184, № 2. P. 287–299. DOI: 10.1007/s12011-017-1159-z.

<sup>46</sup> Kostik V., Bauer B., Kavrovskii Z. Lithium content in potable water, surface water, ground water, and mineral water on the territory of republic of Macedonia. *International Journal of Medicine and Public Health*. 2014. Vol. 4, № 3. P. 189–193. DOI: 10.4103/2230-8598.137700.

<sup>47</sup> Lithium in drinking water and suicide rates across the East of England / N. Kabacs et. al. *British Journal of Psychiatry*. 2011. Vol. 198, № 5. P. 406–407. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.088617.

<sup>48</sup> Lithium in the public water supply and suicide mortality in Texas / V. Blüml et. al. *Journal of Psychiatric Research*. 2013. Vol. 47, № 3. P. 407–411. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2012.12.002.

<sup>49</sup> Прибилова В.М. Оцінка якісного складу питних підземних вод сеноман-нижньокрейдного водоносного комплексу на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. Харків, 2015. Вип. 43. С. 75–82.

<sup>50</sup> Lithium levels in drinking water and risk of suicide / H. Ohgami et. al. *British Journal of Psychiatry*. 2009. Vol. 194, № 5. P. 464–465. DOI: 10.1192/bjp.bp.108.055798.

<sup>51</sup> Lithium in tap water and suicide mortality in Japan / N. Sugawara et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013. Vol. 10, № 11. P. 6044–6048. DOI: 10.3390/ijerph10116044.

<sup>52</sup> Lithium in drinking water may be negatively associated with depressive temperament in the nonclinical population / N. Ishii et. al. *Clinical Neuropsychopharmacology and Therapeutics*. 2017. Vol. 8. P. 7–11. DOI: 10.5234/cnpt.8.7.

концентрації мікроелементу виявлені у воді, що була розлита у пляшки у Німеччині та Югославії, відповідно 1,4 та 1,3 мг/л<sup>53</sup>.

Дослідження мінеральної води в пляшках, як газованої так і не газованої, придбаної у різних районах Італії, шляхом випадкової вибірки, дозволили встановити, що середня концентрація літію у воді становила 3,4 мкг/л, а максимальне значення в окремих пробах – 241,0 мкг/л<sup>54</sup>.

Цікаві дані отримані при вивченні концентрації літію у мінеральній воді, придбаної у супермаркетах 40 європейських країн. Середній показник умісту літію у бутильованій воді становив 10,0 мкг/л. Найвище значення цього показника (9860 мкг/л) було зафіксовано у мінеральній воді з Словаччини<sup>55</sup>.

## **6. Літій у рослинах і продуктах харчування рослинного походження**

Варіабельність якісного та кількісного складу ґрунтів і води різних континентів зумовлює суттєві відмінності щодо концентрації літію у рослинах. Нечисленні літературні дані щодо вмісту літію у рослинах свідчать про те, що його рівень може коливатися від 0,1 до 2680 мг/кг сухої речовини. На вміст літію в рослинах впливають ряд чинників: тип ґрунту, його рН, валовий вміст мікроелементу у ґрунті та величина його рухомої форми, період року, вид рослини, місце зростання, погодні та кліматичні умови тощо. Величина надходження літію із поживного середовища у рослини часто обумовлена наявністю у останніх бар'єрних механізмів<sup>56, 57</sup>.

Хоча літій і не відноситься до основних елементів мінерального живлення рослин, у науковій літературі є дані про його важливу роль у багатьох фізіолого-біохімічних процесах. Так, достовірно встановлено, що літій у незначних кількостях позитивно впливає на ріст і розвиток рослин, підвищує їх стійкість до хвороб, покращує водно-сольовий обмін і транспортування калію, посилює фотохімічну активність хлоропластів, синтез і транслокацію цукрів, азотний обмін, активує ферментативні процеси, регулює біосинтез і накопичення алкалоїдів та

---

<sup>53</sup> Krachler M., Shotyk W. Trace and ultratrace metals in bottled waters: survey of sources worldwide and comparison with refillable metal bottles. *Science of the Total Environment*. 2009. Vol. 407, № 3. P. 1089–1096. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.10.014.

<sup>54</sup> Trace Elements and ions in Italian bottled mineral waters : identification of anomalous values and human health related effects / D. Cicchella et. al. *Journal of Geochemical Exploration*. 2010. Vol. 107, № 3. P. 336–349. DOI: 10.1016/j.gexplo.2010.04.004.

<sup>55</sup> European Ground Water Geochemistry Using Bottled Water as a Sampling Medium / A. Demetriades et. al. *Clean soil and safe water*; F.F. Quercia, D.Vidojevic. Springer Netherlands, 2012. P. 115–139. DOI: 10.1007/978-94-007-2240-8\_10.

<sup>56</sup> Kalinowska M., Hawrylak-Nowak B., Szymańska M. The influence of two lithium forms on the growth, l-ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 152, № 2. P. 251–257. DOI: 10.1007/s12011-013-9606-y.

<sup>57</sup> Reimagining safe lithium applications in the living environment and its impacts on human, animal, and plant system / N. Shakoor et. al. *Environmental science and ecotechnology*. 2023. Vol. 15. P. 100252. DOI: 10.1016/j.ese.2023.100252.



їх попередників, підвищує інтенсивність дихання, поглинання та накопичення ряду мінеральних елементів. За дефіциту літію у рослинах уповільнюється синтез вітаміну В<sub>12</sub>. Високі концентрації літію порушують метаболізм нуклеїнових кислот, експресію деяких генів, розвиток пилку, пошкоджують клітинні органели та макромолекули, уповільнюють ріст рослин, викликають появу хлоротичних і некротичних плям на листках. Водночас, учені відзначають, що точні механізми дії літію при низьких і високих концентраціях на морфогенез рослин до кінця ще не з'ясовані<sup>58</sup>.

За здатністю акумулювати літій всі рослини умовно можна поділити на дві групи: рослини-концентратори та рослини-неконцентратори. До першої групи відносяться рослини родин *Rosales*, *Caryophyllaceae*, *Solanaceae*, *Ranunculaceae*, *Asteraceae*, а також деякі види рослин, що належать до групи галофітів. Надвисокі концентрації літію (до 4,0 мг/кг сухої речовини) характерні для алое деревовидного, блекоти чорної, касії вузьколистої, беладони звичайної, татарнику звичайного, шабельника болотяного та ін. До другої групи можна віднести всі інші рослини, у тому числі й більшість сільськогосподарських культур<sup>59</sup>. На думку вчених, для літієфілів (деякі види рослин родин *Solanaceae* і *Ranunculaceae*), літій є життєво необхідним мікроелементом.

Вміст літію у рослинах не завжди корелює з його концентрацією у поживному середовищі. Встановлено, що поглинання літію багато в чому залежить від біологічних особливостей рослин, їх віку, і в першу чергу, від катіонообмінної ємності коренів та їх біохімічного складу, а також від міцності зв'язків іонів з клітинними оболонками<sup>60</sup>. Крім того, на ступінь поглинання літію рослинами може впливати концентрація в ґрунті іонів Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> та Cl<sup>-</sup>.

Надземні вегетативні частини рослин містять літію більше, ніж корені. Ще менше літію у насінні<sup>61</sup>. Зазвичай середній вміст літію у рослинах, за різними оцінками, становить 0,15–0,42 мг/кг сухої речовини.

Високі концентрації літію токсичні для рослин. Для більшості видів рослин, токсичні рівні літію коливаються в межах 5–50 мг/кг, крім

---

<sup>58</sup> Hawrylak-Nowak B., Kalinowska M., Szymańska M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. *Biological Trace Element Research*. 2012. Vol. 149, № 3. P. 425–430. DOI: 10.1007/s12011-012-9435-4.

<sup>59</sup> Induced Plant Accumulation of Lithium / L. Kavanagh et al. *Geosciences*. 2018. Vol. 8, № 2. P. 56. DOI: 10.3390/geosciences8020056.

<sup>60</sup> Assessment of Lithium, Macro- and Microelements in Water, Soil and Plant Samples from Karst Areas in Romania / A.I. Török et al. *Materials (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol. 14, № 14. P. 4002. DOI: 10.3390/ma14144002.

<sup>61</sup> Tomascak P.B., Magna T., Dohme, R. *Advances in lithium isotope geochemistry*. Springer Cham, 2016. 195 p.

рослин-концентратів. Надзвичайно чутливі до підвищеного вмісту літію цитрусові дерева (авокадо, апельсин).

Серед сільськогосподарських культур, які складають значну частку добового раціону людини, найменший вміст літію у фруктах і ягодах, зокрема, у лимоні 0,103 мг/кг; гарбузі та дині – 0,060; банані – 0,033; айві та абрикосі – 0,300; яблуку – 0,008; чорниці – 0,060; полуниці – 0,030 мг/кг.

На порядок вище концентрація літію в овочах. Є дані, що вміст цього мікроелементу у шпинаті становить 4,60 мг/кг; зеленій цибулі – 1,80; перці – 0,87; картоплі – 0,77; салаті – 0,30; помідорах – 0,29 мг/кг.

Серед зернових культур, злакові містять менше літію, ніж бобові. Загальною закономірністю для злакових культур є те, що вміст літію у їх зерні знижується у такій послідовності: ячмінь > кукурудза > рис > пшениця тверда > просо > овес > жито > пшениця м'яка, і становить, мг/кг: 0,231; 0,149; 0,120; 0,110; 0,072; 0,060; 0,050 та 0,020 відповідно. Величина виносу літію із ґрунту із зерном чечевиці, сої, гороху та бобів становить, відповідно, 0,748; 0,670; 0,031 та 0,021 мг/кг<sup>62, 63, 64</sup>.

У літературі зустрічаються повідомлення про способи підвищення концентрації літію в овочах і фруктах, а також продуктах їх технологічної переробки<sup>65</sup>.

Слід також відмітити, що одні й ті ж види рослини, в одній і тій же фазі вегетації, але в різних екологічних умовах, значно відрізняються між собою за вмістом літію<sup>66</sup>.

Дані, щодо природного вмісту літію у грибах нечисленні. Водночас встановлено, гриби, що ростуть у лісах, містять незначну кількість цього елемента, а культивовані форми можуть містити лише його сліди, якщо він присутній у субстраті у низьких концентраціях. Вчені, проаналізувавши 171 зразок 38 видів їстівних диких грибів, зібраних на території Угорщини, встановили, що середній вміст у них літію становить 0,189 мг/кг. Найвищі середні концентрації літію були виявлені у грибах таких видів, як *Craterellus cornucopioides* (0,609 мг/кг), *Amanita*

---

<sup>62</sup> Anke M., Schäfer U., Arnhol W. Lithium. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*; В. Caballero, P. Finglas, F. Toldra. Academic Press, 2003. P. 3589–3593/ DOI: 10.1016/B0-12-227055-X/00710-0.

<sup>63</sup> Suttle N.F. Mineral nutrition of livestock. Cambridge: CABI, 2010. 587 p. DOI: 10.1079/9781845934729.0000.

<sup>64</sup> Коновалова О.Ю., Мітченко Ф.А., Шураєва Т.К., Джан Т.В. Мінеральні елементи лікарських рослин та їх роль у життєдіяльності людини. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2012. 192 с.

<sup>65</sup> Pifferi P.G. 2017. EP 2 794 516 B1. Composition for increasing lithium and selenium content in vegetables and their processed products and use thereof. Date of publication and mention of the grant of the patent: 08.03.2017. Bologna, Italy.

<sup>66</sup> Franzaring J., Schlosser S., Damsohn W., Fangmeier A. Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium. *Environmental pollution*. 2016. Vol. 216. P. 858–865. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.06.059.

*strobiliformis* (0,520 мг/кг) та *Psathyrella candolleana* (0,390 мг/кг)<sup>67</sup>. Низка концентрація літію (0,25 мг/кг) була зареєстрована і в грибах зібраних у регіоні Тоскана (Італія)<sup>68</sup>.

Обмеженою є кількість публікацій щодо вмісту літію у чаї. У науковій літературі є повідомлення, що концентрація літію у 29 видах чаю, що споживаються в Китаї, виявилася низькою і коливалась від 0,02 до 0,60 мг/кг. Висока концентрація літію (більше 11 мг/кг) була знайдена тільки в одному виду чаю – *Luobuma* (*Arocynum venetum*)<sup>69</sup>. Подібні результати отримали й польські вчені, які досліджували вміст літію в 55 настоях чорного, зеленого, червоного, фруктових і трав'яних чаїв. За їхніми даними, найнижча середня концентрація літію була виявлена в настой зеленого чаю (0,19 мкг/г сухого листа чаю), дещо вища – в настой чорного чаю (0,40 мкг/г сухого листа чаю), а найвища – в настой червоного чаю (0,64 мкг/г сухого листа чаю)<sup>70</sup>.

### 7. Літій у продуктах харчування тваринного походження

На думку багатьох учених, основними факторами, що визначають концентрацію літію у продуктах харчування тваринного походження (м'яси, молоці, яйцях, рибі тощо), є його рівень у ґрунтах, воді, повітрі та у кормових рослинах. Відомо, що літій у малих кількостях міститься в усіх органах і тканинах, але розподіляється по них дуже нерівномірно, причому неоднаково у різних видів сільськогосподарських тварин і птиці. Високі концентрації ендogenous літію відмічаються у селезінці, легенях, нирках, мозку та крові практично всіх видів тварин, більш низькі – у печінці та м'язах. Встановлено, що середній вміст літію у печінці та нирках великої рогатої худоби становить 5 мг/кг сухої речовини. Концентрація літію в м'ясі різних видів сільськогосподарських тварин збільшується у такому порядку: м'ясо птиці < яловичина < баранина. Це пояснюється тим, що зелені корми та силос, які складають основу раціону великої рогатої худоби та овець, містять більше літію, ніж фуражне зерно, яке згодують сільськогосподарській птиці у складі комбікорму. Риба за вмістом літію практично не відрізняється від м'яса птиці (близько 3 мг/кг сухої

---

<sup>67</sup> Vetter J. Lithium content of some common edible wild-growing mushrooms. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 90. P. 31–37. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.03.019.

<sup>68</sup> The trace element content of top-soil and wild edible mushroom samples collected in Tuscany, Italy / G. Giannaccini et. al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. Vol. 184, № 12. P. 7579–7595. DOI: 10.1007/s10661-012-2520-5.

<sup>69</sup> Wang L., Jiang L., Zhao Z.Y., Tian C.Y. Lithium content of some teas and their infusions consumed in China. *Food Science and Biotechnology*. 2014. Vol. 23, № 1. P. 323–325. DOI: 10.1007/s10068-014-0045-0.

<sup>70</sup> Maria D., Žaneta K., Jadwiga M. Lithium content in the tea and herbal infusions. *European Food Research and Technology*. 2015. Vol. 241, № 2. P. 289–293. DOI: 10.1007/s00217-015-2456-4.

речовини). Для харчових яєць і молока характерна більш висока концентрація літію – у середньому 7,4 та 7,5 мг/кг сухої речовини відповідно. На відміну від молока, молочні продукти (м'які та тверді сири) містять лише 20–55 % літію, від його концентрації у висхідній сировині. Концентрація літію у маслі, що виготовлено із тваринних жирів (молока) становить 1,2 мг/кг сухої речовини. Масло, виготовлене з рослинних жирів містить літію менше.

У науковій літературі є відомості, що при введенні добавок літію в комбікорми для гусенят, що вирощуються на м'ясо, його концентрація у м'язовій тканині та печінці птиці збільшується у такому порядку: м'язи стегна та голіпки < м'язи грудей < печінка. Достатньо високі значення коефіцієнтів накопичення літію в органах і тканинах гусенят (3,21–14,44) вказують на те, що цей елемент має значну акумулюючу здатність<sup>71</sup>.

У меду літій присутній у незначній кількості. Концентрація цього мікроелементу сильно варіює і залежить від ботанічного та географічного походження меду, а також від умов місцевості, де він одержаний (прибережні чи гірські території, сільські чи міські райони). Так, результати досліджень зразків моно– і багатоквіткового меду, отриманого у різних країнах світу, показали, що у меду з Франції вміст літію коливається від 0,0 до 0,24 мкг/кг<sup>72</sup>, Туреччини – від 0,30 до 1,50<sup>73</sup>, Іспанії – від 0 до 110,0<sup>74</sup> та Польщі – від 0,4 до 5,3 мкг/кг натурального продукту<sup>75</sup>.

Якщо природний фон літію невисокий, його концентрація у тваринницькій продукції також невисока, наприклад, у молоці та молочних продуктах від 0,01 до 0,50 мг/кг, риби – від 0 до 0,58 мг/кг<sup>76</sup>,

---

<sup>71</sup> Sobolev O., Borshch O.O., Riznychuk I., Kyshlaly O. Fortification of meat products of geese farming with lithium by introducing it into poultry mixed feed. *Agraarteadus*. 2022. Vol. 33. № 1. P. 154–161. DOI: 10.15159/jas.22.11.

<sup>72</sup> Chemometrical analysis of 18 metallic and nonmetallic elements found in honeys sold in France / J. Devillers et. al. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50, № 21. P. 5998–6007. DOI: 10.1021/jf020497t.

<sup>73</sup> Bağcı Y., Arslan D., Ozcan M.M., Dursu, N. Determination of the mineral content of bee honeys produced in Middle Anatolia. *Food sciences and nutrition*. 2007. Vol. 58, № 7. P. 567–575. DOI: 10.1080/09637480701343804.

<sup>74</sup> Terrab A., Recamales A.F., Gonzalez Miret M.L., Heredia F.J. Contribution to the study of avocado honeys by their mineral contents using inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 92, № 2. P. 305–309. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.07.033.

<sup>75</sup> Steckha H., Pohl P. Pre-concentration of lithium prior to its determination in honey by flame optical emission spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2011. Vol. 22, № 4. P. 677–683. DOI: 10.1590/S0103-5053201100040001.

<sup>76</sup> Nabrzyski M., Gajewska K. Content of strontium, lithium and calcium in selected milk products and in some marine smoked fish. *Nahrung*. 2002. Vol. 46, № 3. P. 204–208. DOI: 10.1002/1521-3803(20020501)46:3<204::AID-FOOD204>3.0.CO;2-8.

м'яких і твердих сирах – від 0,015 до 0,028 мг/кг, маслі – 0,0075 мг/кг<sup>77</sup>. Водночас, більш пізні дослідження французьких учених довели, що рівень літію у рибі може бути ще нижчим, зокрема, у вугра та лосося – менше 0,01 мг/кг, сардини, оселедця та гренадера – 0,031–0,045 мг/кг, анчоуса та пілчарда – 0,105 та 0,093 мг/кг відповідно<sup>78</sup>.

Зовсім інша картина спостерігається у регіонах, де ґрунти та поверхневі води мають високий вміст мікроелементу. Як наслідок, продукти харчування тваринного і рослинного походження, містять більш високі рівні літію, ніж в інших місцях. Один з таких регіонів – північна частина Чилі. Вміст літію у рибі різних видів, виловленої у цьому регіоні, варіює від 18,2 до 103,2 мг/кг. Продукція тваринництва також містить дуже високі рівні літію, зокрема, м'ясо різних видів тварин – від 10,2 до 99,3 мг/кг, молоко коров'яче – від 4379 до 4996 мг/л. Концентрація літію у козиному молоці має більш широкий діапазон коливань – від 3129 до 4997 мг на 1 л натурального продукту<sup>79</sup>.

## 8. Рівні споживання літію з їжею та потреба у ньому людини

Наведені дані щодо вмісту літію у воді та продуктах харчування дають підставу припустити, що літій, знаходячись у харчовому ланцюзі, може здійснювати вплив і на людину. Сьогодні більшість населення (за винятком деяких регіонів) споживає літію менше, ніж потрібно. Аналіз фактичного споживання літію з їжею та водою свідчить про недостатній (або навіть низький) рівень забезпеченості організму людини цим мікроелементом.

Фахівці з Управління охорони навколишнього середовища США підраховали, що добове споживання літію дорослою людиною вагою 70 кг варіює від 0,65 до 3,10 мг. Люди, що проживають у таких географічних регіонах, як Північна Аргентина та Північна Чилі, за їх оцінками споживають літію від 2 до 30 мг/добу<sup>80</sup>.

Значна кількість країн світу характеризується помірними та низькими показниками споживання літію населенням. У різних країнах світу рівень споживання літію з їжею та водою становить, мг/добу: Бельгія – 0,001–0,015; Канада – 0,022; Фінляндія – 0,035; Франція – 0,048; Туреччина – 0,029–0,051; Іспанія – 0,011–0,105; Англія – 0,107;

---

<sup>77</sup> Trace elements content in cheese, cream and butter / N. Bilandžić et. al. *Mljekarstvo/Dairy*. 2014. Vol. 64, № 3. P. 150–158. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2014.0302.

<sup>78</sup> Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market / T. Guerin et. al. *Food Chemistry*. 2011. Vol. 127, № 3. P. 934–942. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.01.061

<sup>79</sup> Environmental lithium exposure in the north of Chile – II. Natural food sources / L.T. Figueroa et. al. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 151, № 1. P. 122–131. DOI: 10.1007/s12011-012-9543-1.

<sup>80</sup> Marshall T.M. Lithium as a nutrient. *Journal of American Physicians and Surgeons*. 2015. Vol. 20, № 4. P. 104–109.

Австрія – 0,348; Німеччина – 0,182–0,546; Японія – 0,812; США – 0,429–0,821; Данія – 1,009; Швеція – 1,09; Мексика – 1,485; Китай – 1,560<sup>81, 82</sup>. При недостатньому надходженні літію в організм людини порушується ріст тканин і репродуктивна функція, скорочується тривалість життя через передчасне старіння, підвищується агресивність, виникають проблеми у поведінці. Використовуючи методи кореляційного аналізу, вчені встановили обернену залежність між рівнем літію в організмі людини та рівнем самогубств серед населення, а також рівнем насильницьких злочинів, таких як вбивства, зґвалтування та пограбування<sup>83, 84</sup>. З огляду на викладене вище, забезпечення організму людини літієм в оптимальних кількостях має важливе значення.

До сьогодні офіційних рекомендацій експертів ФАО/ВООЗ щодо дієтичних норм споживання літію людиною немає<sup>85</sup>. Водночас, існуючі результати наукових досліджень дають підставу вважати, що рекомендованою нормою споживання літію з їжею та водою для дорослої людини вагою 70 кг є 1,0 мг/добу. У подальшому, була рекомендована доза щоденного споживання літію – 14,3 мкг на 1 кг маси тіла людини. Екстраполяція вказаної величини з урахуванням ваги тіла дітей та підлітків дозволяє розрахувати їхню орієнтовну фізіологічну потребу в літії.

Слід відмітити, що потреба людини в літії носить індивідуальний характер і є змінною величиною, яка залежить від фізіологічного стану організму, виду діяльності (розумова чи фізична) рівня фізичної активності та стану здоров'я, що вимагає постійної корекції його надходження в організм з їжею.

Високі рівні літію в раціоні харчування можуть становити небезпеку для здоров'я людини, через його токсичні ефекти. Характерними ознаками отруєння літієм є загальна слабкість, сонливість, втрата апетиту, спрага і сухість у роті, деколи салівація, нудота, блювання, профузний пронос, тремор губ, нижньої щелепи, рук, гіперрефлексія,

---

<sup>81</sup> Van Cauwenbergh R., Hendrix P., Robberecht H., Deelstra H. Daily dietary lithium intake in Belgium using duplicate portion sampling. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung*. 1999. Vol. 208, № 3. P. 153–155. DOI: 10.1007/s002170050393.

<sup>82</sup> Nutritional Risk Assessment of Eleven Minerals and Trace Elements: Prevalence of Inadequate and Excessive Intakes from the Second French Total Diet Study / E. Kalonji et. al. *European Journal of Nutrition and Food Safety*. 2015. Vol. 5, № 4. P. 281–296. DOI: 10.9734/EJNFS/2015/18193.

<sup>83</sup> A negative association between lithium in drinking water and the incidences of homicides, in Greece / O. Giotakos et. al. *Biological Trace Element Research*. 2015. Vol. 164. P. 165–168. DOI: 10.1007/s12011-014-0210-6.

<sup>84</sup> Kohno K., Ishii N., Hirakawa H., Terao T. Lithium in drinking water and crime rates in Japan: Cross-sectional study. *BJPpsych Open*. 2020. Vol. 6, № 6. P. E122. DOI: 10.1192/bjo.2020.63.

<sup>85</sup> WHO/IAEA/FAO. Trace elements in human nutrition and health. Geneva: World Health Organization, 1996. 343 p.

запаморочення, дизартрія, розлади зору. У важчих випадках – епілептичні напади, судоми, деколи психічні розлади, кома, смерть<sup>86</sup>.

## 9. Літій і здоров'я людини

Літій вже давно з успіхом використовуються у медицині, як ефективний та безпечний засіб для лікування та профілактики багатьох хвороб<sup>87</sup>. Літієва терапія використовується для лікування афективних біполярних розладів, у маніакальній та депресивній фазах, а також для профілактики рецидивів. Є ефективним засобом у профілактиці самогубств<sup>88, 89, 90</sup>.

Препарати літію використовуються для зменшення ризиків розвитку деменції (недоумства) і мають значний нейропротекторний ефект у низьких і навіть дуже низьких дозах<sup>91, 92</sup>.

Доведена висока ефективність літію при лікуванні пацієнтів з хворобою Альцгеймера та з легкою когнітивною недостатністю. Тривале використання мікродоз літію попереджає розвиток хвороби Альцгеймера та когнітивних порушень, покращує загальний стан, служить профілактикою їх подальшого прогресу<sup>93, 94</sup>. Літій розглядається як можливий терапевтичний агент для лікування інших хронічних нейродегенеративних захворювань, таких як хвороби Паркінсона та Хантингтона<sup>95</sup>.

---

<sup>86</sup> Перепелиця О.П. Екохімія та ендоекологія елементів : довідник з екологічного захисту. Київ: НУХТ, Екохім, 2004. 736 с.

<sup>87</sup> Bourgeois M.-L., Masson M. The history of lithium in medicine and psychiatry. *The science and practice of lithium therapy*; G.S. Malhi, M. Masson, F. Bellivier. Springer International Publishing Switzerland, 2017. P. 181–188. DOI: 10.1007/978-3-319-45923-3.

<sup>88</sup> Machado-Vieira, R., Manji H.K., Zarate C.A. The role of lithium in the treatment of bipolar disorder: convergent evidence for neurotrophic effects as a unifying hypothesis. *Bipolar Disorders*. 2009. Vol. 11, № 2. P. 92–109. DOI: 10.1111/j.1399-5618.2009.00714.x.

<sup>89</sup> Lithium for prevention of mood episodes in bipolar disorders: systematic review and meta-analysis / E. Severus et. al. *International Journal of Bipolar Disorders*. 2014. Vol. 2. P. 15. DOI: 10.1186/s40345-014-0015-8.

<sup>90</sup> Malhi G.S., Gessler D., Outhred T. The use of lithium for the treatment of bipolar disorder: Recommendations from clinical practice guidelines. *Journal of Affective Disorders*. 2017. Vol. 217. P. 266–280. DOI: 10.1016/j.jad.2017.03.052.

<sup>91</sup> Mauer S., Vergne D., Ghaemi S.N. Standard and trace-dose lithium: a systematic review of dementia prevention and other behavioral benefits. *The Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*. 2014. Vol. 48, № 9. P. 809–818. DOI: 10.1177/0004867414536932.

<sup>92</sup> Lithium treatment and risk for dementia in adults with bipolar disorder: population-based cohort study / T. Gerhard et. al. *The British Journal of Psychiatry*. 2015. Vol. 207, № 1. P. 46–51. DOI: 10.1192/bjp.bp.114.154047.

<sup>93</sup> Lithium as a treatment for Alzheimer's Disease: a systematic review and meta-analysis/ S. Matsunaga et. al. *Journal of Alzheimer's disease*. 2015. Vol. 48, № 2. P. 403–410. DOI: 10.3233/JAD-150437.

<sup>94</sup> Chronic microdose lithium treatment prevented memory loss and neurohistopathological changes in a transgenic mouse model of Alzheimer's Disease / M.A. Nunes et. al. *PLoS One*. 2015. Vol. 10, № 11. P. e0142267. DOI: 10.1371/journal.pone.0142267.

<sup>95</sup> Lazzara C.A., Kim, Y.-H. Potential application of lithium in Parkinson's and other neurodegenerative diseases. *Frontiers in Neuroscience*. 2015. Vol. 9. P. 403. DOI: 10.3389/fnins.2015.00403.

Клінічні та експериментальні дослідження показали, що літій володіє антиканцерогенним ефектом і здатний попереджати та лікувати деякі види раку<sup>96, 97</sup>.

Препарати літію стимулюють остеогенез, збільшують щільність кістки та кісткову масу і використовуються як підтримуюча терапія при лікуванні остеопорозу<sup>98, 99</sup>. Низькі дози літію знижують загальну смертність населення і сприяють продовженню життя людини<sup>100</sup>.

## ВИСНОВКИ

Переміщення літію у природному середовищі визначається поєднанням механічних, фізико-хімічних, біогенних і техногенних міграційних процесів. Міграція літію відбувається переважно в іонній формі. Низький енергетичний коефіцієнт іонів літію свідчить про їх високу міграційну здатність. Елемент виявлено в атмосфері, літосфері, гідросфері та біосфері. Вміст літію у ґрунтах і природних водах може коливатися в широких межах і залежить в основному від ландшафтно-геохімічних особливостей різних географічних регіонів. Основними чинниками, що визначають концентрацію літію в овочах, фруктах, ягодах, зернових культурах, продуктах харчування тваринного походження, є його рівень у ґрунтах, воді та у кормових рослинах. Крім того, суттєву роль у біоаккумуляції літію відіграють видові особливості рослин і тварин. Фактичний вміст літію в раціонах харчування свідчить про недостатній рівень забезпеченості організму людини цим мікроелементом, через низькі концентрації його в продуктах харчування та воді. На сьогодні відсутні офіційні рекомендації експертів ФАО/ВООЗ щодо дієтичних норм споживання людиною літію. Незважаючи на те, що існує значна кількість наукових напрацювань щодо накопичення і міграції літію в основних компонентах природного середовища, деякі питання ще до кінця не вивчені, а деякі літературні дані – суперечливі, і потребують пояснення або уточнення. Подальші комплексні еколого-токсикологічні дослідження рівнів та закономірностей міграції та накопичення літію у абіотичних і біотичних

---

<sup>96</sup> Lithium chloride promotes apoptosis in human leukemia NB<sub>4</sub> cells by inhibiting glycogen synthase kinase-3 beta / L. Li et. al. *International Journal of Medical Sciences*. 2015. Vol. 12, № 10. P. 805–810. DOI: 10.7150/ijms.12429.

<sup>97</sup> Berk M., Cowdery S., Williams L., Malhi G.S. Recalibrating the risks and benefits of lithium therapy. *The British Journal of Psychiatry*. 2017. Vol. 211, № 1. P. 1–2. DOI: 10.1192/bjp.bp.116.193789.

<sup>98</sup> Zamani A., Omrani G.R., Nasab, M.M. Lithium's effect on bone mineral density. *Bone*. 2009. Vol. 44, № 2. P. 331–334. DOI: 10.1016/j.bone.2008.10.001.

<sup>99</sup> Tang L., Chen Y., Pei F., Zhang H. Lithium chloride modulates adipogenesis and osteogenesis of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Cell Physiol Biochem*. 2015. Vol. 37. P. 143–152. DOI: 10.1159/00043034.

<sup>100</sup> Low-dose lithium uptake promotes longevity in humans and metazoans / K. Zarse et. al. *European Journal of Nutrition*. 2011. Vol. 50, № 5. P. 387–389. DOI: 10.1007/s00394-011-0171-x.



компонентах природного середовищі необхідні передусім для мінімізації негативних наслідків для здоров'я людей, пов'язаних з небезпечними концентраціями цього мікроелемента.

## АНОТАЦІЯ

Літій є природним елементом з унікальними фізико-хімічними властивостями, які й визначають його біологічну роль в організмі рослин, тварин і людини. У низьких концентраціях літій позитивно впливає на фізіологічні процеси в живих організмах, тоді як високі дози, викликають інтоксикацію і можуть призвести до патологічних функціональних змін окремих органів або систем. Знання рівнів і закономірностей міграції літію в основних компонентах природного середовища необхідні передусім для мінімізації біологічних ризиків для здоров'я людини, пов'язаних з небезпечними концентраціями цього мікроелементу. В аналітичному огляді узагальнені та систематизовані результати багаторічних наукових досліджень, щодо вмісту літію у ґрунтах, воді, повітрі, рослинах, продуктах харчування рослинного та тваринного походження. Овочі, фрукти, ягоди, зернові культури, продукція тваринництва та птахівництва, що вирощені в різних екологічних умовах, значно відрізняються між собою за вмістом літію. Знаходячись у харчовому ланцюзі літій може здійснювати вплив на організм людини. Аналіз фактичного вмісту літію в раціонах харчування свідчить про недостатній рівень забезпеченості організму людини цим мікроелементом, через низькі концентрації його в продуктах харчування та воді. При недостатньому надходженні літію в організм людини порушується ріст тканин і репродуктивна функція, скорочується тривалість життя через передчасне старіння, підвищується агресивність, виникають проблеми у поведінці. На сьогодні відсутні офіційні рекомендації експертів FAO/WHO щодо дієтичних норм споживання людиною літію. Представлені дані, дозволяють більш об'єктивно оцінити еколого-біогеохімічний статус територій різних географічних регіонів та у подальшому спрогнозувати рівень надходження цього мікроелементу з водою і продуктами харчування в організм людини.

## Література

1. A review on role of essential trace elements in health and disease / L. Prashanth et. al. *Journal Dr.NTR University of Health Sciences*. 2015. Vol. 4, № 2. P. 75–85. DOI: 10.4103/2277-8632.158577.
2. Левітін Є.Я., Ведерникова І.О., Коваль А.О., Криський О.С. Біоактивність неорганічних сполук: навч. посіб. для аудит. та самост. роботи студентів / Харків : НФаУ, 2017. 83 с.

3. Bauer M., Gitlin M. Lithium and Its History. *The essential guide to lithium treatment*. Springer Cham, 2016. P. 25–31. DOI: 10.1007/978-3-319-31214-9\_3.
4. Grew E., Jonsson E., Langhof J. Lithium – 200 years: Symposium and field trip June 14–16, 2018. *Elements*. 2018. Vol. 14, № 4. P. 284.
5. Mohandas E., Rajmohan V. (2007). Lithium use in special populations. *Indian Journal of Psychiatry*. 2007. Vol. 49, № 3. P. 211–218. DOI: 10.4103/0019-5545.37325.
6. Johanson P. Lithium. New York: Rosen Publishing Group, 2007. 48 p.
7. Meyer J., Stahl S. The Lithium Handbook: Stahl's Handbooks (Stahl's Essential Psychopharmacology Handbooks). Cambridge: Cambridge University Press, 2023.
8. Lithium toxicity in plants : reasons, mechanisms and remediation possibilities – a review / B. Shahzad et. al. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016. Vol. 107. P. 105–115. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.034.
9. Mineral profiles: Lithium. British Geological Survey Keyworth, Nottingham, UK, 2016. 39 p.
10. Жук О.А., Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Основні закономірності розподілу літію у ґрунтах УЩ. *Геохімія та рудоутворення*. 2010. Вип. 28. С. 130–132.
11. Munteanu C. Lithium biology. București: Editura Balneară, 2013. 104 p.
12. Evans R.K. Lithium. *Critical metals handbook*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, Ltd, 2014. P. 230–260. DOI: 10.1002/9781118755341.
13. Mueller R., Betz L., Anke M. Essentiality of the ultra trace element lithium to the nutrition of animals and man. *Proceedings of the 30 Scientific symposium of industrial toxicology*. Slovakia: Slovenska spoločnosť priemyselnej chémie, 2010. P. 134–143.
14. Potential health benefits of deep sea water : a review / S.Z. Mohd Nani et. al. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicin*. 2016. Vol. 2016. P. 6520475. DOI: 10.1155/2016/6520475.
15. Schäfer U. Lithium. Elements and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004. P. 478–496. DOI: 10.1002/9783527619634.ch23a.
16. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace Elements from Soil to Human. Heidelberg: Springer Berlin, 2007. 550 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1.
17. Геохімія довкілля: навч. посібник / Н.Т. Тверезовська та ін. Ніжин; Боярка: Видавець Лисенко М.М., 2015. 403 с.
18. Is lithium biologically an important or toxic element to living organisms? An overview / B. Shahzad et. al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 24, № 1. P. 103–115. DOI: 10.1007/s11356-016-7898-0.

19. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 403 p.
20. Жук О.А. Геохімічні особливості розподілу літію у сольових ореолах гетерогенного походження. *Геохімія та рудоутворення*. 2013. Вип. 33. С. 81–85.
21. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Жук О.А. Геохімічні пошуки за екзогенними сольовими ореолами літію. *Мінералогічний журнал*. 2011. Т. 33, № 3. С. 84–89.
22. Schrauzer G.N. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *Journal of the American College of Nutrition*. 2002. Vol. 21, № 1. P. 14–21.
23. Aral H., Vecchio-Sadus A. Toxicity of lithium to humans and the environment – a literature review. *Ecotoxicol Environ Safety*. 2008. Vol. 70, № 3. P. 349–356. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.026.
24. Цвей Я.П., Широконос А.М., Феденко П.Я., Звягінцев С.С. Вміст важких металів на моніторингових ділянках біосферного заповідника «Асканія-Нова». *Наукові записки НаУКМА*. 2001. Т. 19: Біологія та екологія. С. 83–85.
25. The occurrence of lithium in the environment of the Jordan Valley and its transfer into the food chain / T.G. Ammari et. al. *Environmental Geochemistry and Health*. 2011. Vol. 33, № 5. P. 427–437. DOI: 10.1007/s10653-010-9343-5.
26. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters. *Treatise on Geochemistry*. 2003. Vol. 5. P. 225–272. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/05165-3.
27. Kszos L.A., Beauchamp J.J., Stewart A.J. Toxicity of lithium to three freshwater organisms and the antagonistic effect of sodium. *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12, № 5. P. 427–437. DOI: 10.1023/A:1026160323594.
28. Anderson M.A., Bertsch P.M., Miller W.P. The distribution of lithium in selected soils and surface waters of the southeastern USA. *Applied Geochemistry*. 1988. Vol. 3, № 2. P. 205–212. DOI: 10.1016/0883-2927(88)90008-X.
29. Kszos L.A., Stewart A.J. Review of lithium in the aquatic environment: distribution in the united states, toxicity and case example of groundwater contamination. *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12, № 5. P. 439–447. DOI: 10.1023/A:1026112507664.
30. Lithium in the natural waters of the south East of Ireland / L. Kavanagh et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 4, № 6. P. 561. DOI: 10.3390/ijerph14060561.
31. Ogawa Y., Koibuchi H., Suto K., Inoue C. Effects of the chemical compositions of salars de Uyuni and Atacama Brines on lithium concentration during evaporation. *Resource Geology*. 2014. Vol. 64, № 2. P. 91–101. DOI: 10.1111/rge.12030.

32. Song J., Nghiem L.D., Xue-Mei L., Tao H. Lithium extraction from chinese salt-lake brines : opportunities, challenges, and future outlook. *Environmental Science : Water Research Technology*. 2017. Vol. 3, № 4. P. 593–597. DOI: 10.1039/C7EW00020K.
33. Recovery of lithium from Uyuni salar brine / J.W. An et. al. *Hydrometallurgy*. 2012. Vol. 117–118. P. 64–70. DOI: 10.1016/J.HYDROMET.2012.02.008.
34. Warren J.K. Evaporites : a geological compendium. Springer Cham, 2016. 1813 p. DOI: 10.1016/J.HYDROMET.2012.02.008.
35. Global lithium resources : relative importance of pegmatite, brine and other deposits / S.E. Kesler et. al. *Ore Geology Reviews*. 2012. Vol. 48. P. 55–69. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2012.05.006.
36. Удалов І.В. Гідрохімічна характеристика поверхневих та ґрунтових вод Лисичанського та Алмазно-Мар'євського геолого-промислових районів північно-східного Донбасу. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Геологія. Географія*. 2014. Т. 22, вип. 16. С. 188–197.
37. Онищенко В.І. Вплив скидних шахтових вод на річкові екосистеми Донбасу. *Екологія та ноосферологія*. 2006. Вип. 17, т. 1–2. С. 61–68.
38. Lithium levels in the public drinking water supply and risk of suicide : a pilot study / V. Liaugaudaite et. al. *Journal of trace elements in medicine and biology*. 2017. Vol. 43. P. 197–201. DOI: 10.1016/j.jtemb.2017.03.009.
39. High-level exposure to lithium, boron, cesium, and arsenic via drinking water in the andes of Northern Argentina / G. Concha et. al. *Environmental Science Technology*. 2010. Vol. 44, № 17. P. 6875–6880. DOI: 10.1021/es1010384.
40. Lithium in drinking water and suicide mortality / N.D. Kapusta et. al. *The British Journal of Psychiatry*. 2011. Vol. 198, № 5. P. 346–350. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.091041.
41. Helbich M., Blüml V., Leitner M., Kapusta, N.D. Does altitude moderate the impact of lithium on suicide? A spatial analysis of Austria. *Geospatial Health*. 2013. Vol. 7, № 2. P. 209–218. DOI: 10.4081/gh.2013.81.
42. Giotakos O., Nisianakis P., Tsouvelas G., Giakalou, V.V. Lithium in the public water supply and suicide mortality in Greece. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 156, № 1–3. P. 376–379. DOI: 10.1007/s12011-013-9815-4.
43. Lithium in drinking water and incidence of suicide : a nationwide individual-level cohort study with 22 years of follow-up / N.N. Knudsen et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 14, № 6. E627. DOI: 10.3390/ijerph14060627.
44. Relationships of local lithium concentrations in drinking water to regional suicide rates in Italy / M. Pompili et. al. *World Journal of Biological Psychiatry*. 2015. Vol. 16, № 8. P. 567–574. DOI: 10.3109/15622975.2015.1062551.

45. Liu Y., Yuan Y., Luo K. Regional Distribution of Longevity Population and Elements in Drinking Water in Jiangjin District, Chongqing City, China. *Biological trace element research*. 2018. Vol. 184, № 2. P. 287–299. DOI: 10.1007/s12011-017-1159-z.
46. Kostik V., Bauer B., Kavrovski Z. Lithium content in potable water, surface water, ground water, and mineral water on the territory of republic of Macedonia. *International Journal of Medicine and Public Health*. 2014. Vol. 4, № 3. P. 189–193. DOI: 10.4103/2230-8598.137700.
47. Lithium in drinking water and suicide rates across the East of England / N. Kabacs et. al. *British Journal of Psychiatry*. 2011. Vol. 198, № 5. P. 406–407. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.088617.
48. Lithium in the public water supply and suicide mortality in Texas / V. Blüml et. al. *Journal of Psychiatric Research*. 2013. Vol. 47, № 3. P. 407–411. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2012.12.002.
49. Прибилова В.М. Оцінка якісного складу питних підземних вод сеноман-нижньокрейдного водоносного комплексу на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. Харків, 2015. Вип. 43. С. 75–82.
50. Lithium levels in drinking water and risk of suicide / H. Ohgami et. al. *British Journal of Psychiatry*. 2009. Vol. 194, № 5. P. 464–465. DOI: 10.1192/bjp.bp.108.055798.
51. Lithium in tap water and suicide mortality in Japan / N. Sugawara et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013. Vol. 10, № 11. P. 6044–6048. DOI: 10.3390/ijerph10116044.
52. Lithium in drinking water may be negatively associated with depressive temperament in the nonclinical population / N. Ishii et. al. *Clinical Neuropsychopharmacology and Therapeutics*. 2017. Vol. 8. P. 7–11. DOI: 10.5234/cnpt.8.7.
53. Krachler M., Shotyk W. Trace and ultratrace metals in bottled waters: survey of sources worldwide and comparison with refillable metal bottles. *Science of the Total Environment*. 2009. Vol. 407, № 3. P. 1089–1096. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.10.014.
54. Trace Elements and ions in Italian bottled mineral waters : identification of anomalous values and human health related effects / D. Cicchella et. al. *Journal of Geochemical Exploration*. 2010. Vol. 107, № 3. P. 336–349. DOI: 10.1016/j.gexplo.2010.04.004.
55. European Ground Water Geochemistry Using Bottled Water as a Sampling Medium / A. Demetriades et. al. *Clean soil and safe water*; F.F. Quercia, D.Vidojevic. Springer Netherlands, 2012. P. 115–139. DOI: 10.1007/978-94-007-2240-8\_10.
56. Kalinowska M., Hawrylak-Nowak B., Szymańska M. The influence of two lithium forms on the growth, l-ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 152, № 2. P. 251–257. DOI: 10.1007/s12011-013-9606-y.

57. Reimagining safe lithium applications in the living environment and its impacts on human, animal, and plant system / N. Shakoor et. al. *Environmental science and ecotechnology*. 2023. Vol. 15. P. 100252. DOI: 10.1016/j.ese.2023.100252.

58. Hawrylak-Nowak B., Kalinowska M., Szymańska M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. *Biological Trace Element Research*. 2012. Vol. 149, № 3. P. 425–430. DOI: 10.1007/s12011-012-9435-4.

59. Induced Plant Accumulation of Lithium / L. Kavanagh et. al. *Geosciences*. 2018. Vol. 8, № 2. P. 56. DOI: 10.3390/geosciences8020056.

60. Assessment of Lithium, Macro- and Microelements in Water, Soil and Plant Samples from Karst Areas in Romania / A.I. Török et. al. *Materials (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol. 14, № 14. P. 4002. DOI: 10.3390/ma14144002.

61. Tomascak P.B., Magna T., Dohme, R. Advances in lithium isotope geochemistry. Springer Cham, 2016. 195 p.

62. Anke M., Schäfer U., Arnhol W. Lithium. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*; B.Caballero, P. Finglas, F. Toldra. Academic Press, 2003. P. 3589–3593/ DOI: 10.1016/B0-12-227055-X/00710-0.

63. Suttle N.F. Mineral nutrition of livestock. Cambridge: CABI, 2010. 587 p. DOI: 10.1079/9781845934729.0000.

64. Коновалова О.Ю., Мітченко Ф.А., Шураєва Т.К., Джан Т.В. Мінеральні елементи лікарських рослин та їх роль у життєдіяльності людини. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2012. 192 с.

65. Pifferi P.G. 2017. EP 2 794 516 B1. Composition for increasing lithium and selenium content in vegetables and their processed products and use thereof. Date of publication and mention of the grant of the patent: 08.03.2017. Bologna, Italy.

66. Franzaring J., Schlosser S., Damsohn W., Fangmeier A. Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium. *Environmental pollution*. 2016. Vol. 216. P. 858–865. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.06.059.

67. Vetter J. Lithium content of some common edible wild-growing mushrooms. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 90. P. 31–37. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.03.019.

68. The trace element content of top-soil and wild edible mushroom samples collected in Tuscany, Italy / G. Giannaccini et. al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. Vol. 184, № 12. P. 7579–7595. DOI: 10.1007/s10661-012-2520-5.

69. Wang L., Jiang L., Zhao Z.Y., Tian C.Y. Lithium content of some teas and their infusions consumed in China. *Food Science and Biotechnology*. 2014. Vol. 23, № 1. P. 323–325. DOI: 10.1007/s10068-014-0045-0.

70. Maria D., Žaneta K., Jadwiga M. Lithium content in the tea and herbal infusions. *European Food Research and Technology*. 2015. Vol. 241, № 2. P. 289–293. DOI: 10.1007/s00217-015-2456-4.

71. Sobolev O., Borshch O.O., Riznychuk I., Kyshlaly O. Fortification of meat products of geese farming with lithium by introducing it into poultry mixed feed. *Agraarteadus*. 2022. Vol. 33. № 1. P. 154–161. DOI: 10.15159/jas.22.11.
72. Chemometrical analysis of 18 metallic and nonmetallic elements found in honeys sold in France / J. Devillers et. al. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50, № 21. P. 5998–6007. DOI: 10.1021/jf020497r.
73. Bağcı Y., Arslan D., Ozcan M.M., Dursu, N. Determination of the mineral content of bee honeys produced in Middle Anatolia. *Food sciences and nutrition*. 2007. Vol. 58, № 7. P. 567–575. DOI: 10.1080/09637480701343804.
74. Terrab A., Recamales A.F., Gonzalez Miret M.L., Heredia F.J. Contribution to the study of avocado honeys by their mineral contents using inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 92, № 2. P. 305–309. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.07.033.
75. Stecka H., Pohl P. Pre-concentration of lithium prior to its determination in honey by flame optical emission spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2011. Vol. 22, № 4. P. 677–683. DOI: 10.1590/S0103-5053201100040001.
76. Nabrzyski M., Gajewska R. Content of strontium, lithium and calcium in selected milk products and in some marine smoked fish. *Nahrung*. 2002. Vol. 46, № 3. P. 204–208. DOI: 10.1002/1521-3803(20020501)46:3<204::AID-FOOD204>3.0.CO;2-8.
77. Trace elements content in cheese, cream and butter / N. Bilandžić et. al. *Mljekarstvo/Dairy*. 2014. Vol. 64, № 3. P. 150–158. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2014.0302.
78. Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market / T. Guerin et. al. *Food Chemistry*. 2011. Vol. 127, № 3. P. 934–942. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2011.01.061.
79. Environmental lithium exposure in the north of Chile – II. Natural food sources / L.T. Figueroa et. al. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 151, № 1. P. 122–131. DOI: 10.1007/s12011-012-9543-1.
80. Marshall T.M. Lithium as a nutrient. *Journal of American Physicians and Surgeons*. 2015. Vol. 20, № 4. P. 104–109.
81. Van Cauwenbergh R., Hendrix P., Robberecht H., Deelstra H. Daily dietary lithium intake in Belgium using duplicate portion sampling. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung*. 1999. Vol. 208, № 3. P. 153–155. DOI: 10.1007/s002170050393.
82. Nutritional Risk Assessment of Eleven Minerals and Trace Elements: Prevalence of Inadequate and Excessive Intakes from the Second French Total Diet Study / E. Kalonji et. al. *European Journal of Nutrition and Food Safety*. 2015. Vol. 5, № 4. P. 281–296. DOI: 10.9734/EJNFS/2015/18193.
83. A negative association between lithium in drinking water and the incidences of homicides, in Greece / O. Giotakos et. al. *Biological Trace Element Research*. 2015. Vol. 164. P. 165–168. DOI: 10.1007/s12011-014-0210-6.

84. Kohno K., Ishii N., Hirakawa H., Terao T. Lithium in drinking water and crime rates in Japan: Cross-sectional study. *BJPsych Open*. 2020. Vol. 6, № 6. P. E122. DOI: 10.1192/bjo.2020.63.
85. WHO/IAEA/FAO. Trace elements in human nutrition and health. Geneva: World Health Organization, 1996. 343 p.
86. Перепелиця О.П. Екохімія та ендоекологія елементів : довідник з екологічного захисту. Київ: НУХТ, Екохім, 2004. 736 с.
87. Bourgeois M.-L., Masson M. The history of lithium in medicine and psychiatry. *The science and practice of lithium therapy*; G.S. Malhi, M. Masson, F. Bellivier. Springer International Publishing Switzerland, 2017. P. 181–188. DOI: 10.1007/978-3-319-45923-3.
88. Machado-Vieira, R., Manji H.K., Zarate C.A. The role of lithium in the treatment of bipolar disorder: convergent evidence for neurotrophic effects as a unifying hypothesis. *Bipolar Disorders*. 2009. Vol. 11, № 2. P. 92–109. DOI: 10.1111/j.1399-5618.2009.00714.x.
89. Lithium for prevention of mood episodes in bipolar disorders: systematic review and meta-analysis / E. Severus et. al. *International Journal of Bipolar Disorders*. 2014. Vol. 2. P. 15. DOI: 10.1186/s40345-014-0015-8.
90. Malhi G.S., Gessler D., Outhred T. The use of lithium for the treatment of bipolar disorder: Recommendations from clinical practice guidelines. *Journal of Affective Disorders*. 2017. Vol. 217. P. 266–280. DOI: 10.1016/j.jad.2017.03.052.
91. Mauer S., Vergne D., Ghaemi S.N. Standard and trace-dose lithium: a systematic review of dementia prevention and other behavioral benefits. *The Australian and New Zealand journal of psychiatry*. 2014. Vol. 48, № 9. P. 809–818. DOI: 10.1177/0004867414536932.
92. Lithium treatment and risk for dementia in adults with bipolar disorder: population-based cohort study / T. Gerhard et. al. *The British Journal of Psychiatry*. 2015. Vol. 207, № 1. P. 46–51. DOI: 10.1192/bjp.bp.114.154047.
93. Lithium as a treatment for Alzheimer’s Disease: a systematic review and meta-analysis/ S. Matsunaga et. al. *Journal of Alzheimer’s disease*. 2015. Vol. 48, № 2. P. 403–410. DOI: 10.3233/JAD-150437.
94. Chronic microdose lithium treatment prevented memory loss and neurohistopathological changes in a transgenic mouse model of Alzheimer’s Disease / M.A. Nunes et. al. *PLoS One*. 2015. Vol. 10, № 11. P. e0142267. DOI: 10.1371/journal.pone.0142267.
95. Lazzara C.A., Kim, Y.-H. Potential application of lithium in Parkinson’s and other neurodegenerative diseases. *Frontiers in Neuroscience*. 2015. Vol. 9. P. 403. DOI: 10.3389/fnins.2015.00403.
96. Lithium chloride promotes apoptosis in human leukemia NB<sub>4</sub> cells by inhibiting glycogen synthase kinase-3 beta / L. Li et. al. *International Journal of Medical Sciences*. 2015. Vol. 12, № 10. P. 805–810. DOI: 10.7150/ijms.12429.
97. Berk M., Cowdery S., Williams L., Malhi G.S. Recalibrating the risks and benefits of lithium therapy. *The British Journal of Psychiatry*. 2017. Vol. 211, № 1. P. 1–2. DOI: 10.1192/bjp.bp.116.193789.



98. Zamani A., Omrani G.R., Nasab, M.M. Lithium's effect on bone mineral density. *Bone*. 2009. Vol. 44, № 2. P. 331–334. DOI: 10.1016/j.bone.2008.10.001.

99. Tang L., Chen Y., Pei F., Zhang H. Lithium chloride modulates adipogenesis and osteogenesis of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Cell Physiol Biochem*. 2015. Vol. 37. P. 143–152. DOI: 10.1159/00043034.

100. Low-dose lithium uptake promotes longevity in humans and metazoans / K. Zarse et. al. *European Journal of Nutrition*. 2011. Vol. 50, № 5. P. 387–389. DOI: 10.1007/s00394-011-0171-x.

**Information about the authors:**

**Sobolev Oleksandr Ivanovych,**

Doctor of Agricultural Sciences,

Professor at the Department of Technology of poultry breeding  
and pig breeding products production

Bila Tserkva National Agrarian University

8/1, Soborna sq., Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine

**Petryshak Roman Anatoliiovych,**

Candidate of Agricultural Sciences,

Associate Professor at the Department of Animal Feeding  
and Feed Technology

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and  
Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Naumyk Oleksandr Serhiiiovych,**

Candidate of Agricultural Sciences,

Associate Professor at the Department of Animal Feeding  
and Feed Technology

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and  
Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

## ECOLOGICAL STATEMENT OF THE WEST PART OF UKRAINE AND SPREADING OF INTERNAL PATHOLOGY OF SHEEP

Sharandak P. V., Grushanska N. G., Sharandak V. V.

### INTRODUCTION

The establishment of Ukraine as an independent food state has brought on the agenda the issue of the priority of the agro-industrial complex development, including agriculture, its key production and working potential. Animal husbandry is not only key, but also is one of the most economically and technologically vulnerable and risky type of agricultural activity. In addition to the unpredictability in animal feed supplying, which often depends on the agriculture level, there is a certain uncertainty in the demand for products and, accordingly, their prices<sup>1</sup>.

Scientific studies have shown that changes of the animals' productivity on 50–80% is determined by the feed quality. With proper animal husbandry, the level of development of the fodder base, as usually, is ahead of the rate of growth of the livestock population. Unfortunately, the opposite trend is observed today in most of farms, which has caused an inefficient livestock feeding system and a significant increase in the cost of feed and livestock products<sup>2,3</sup>.

The sheep breeding industry is a complex production and economic activity with its goal to meet the needs of the population in unique and valuable food products, and to supply the industry (light, food, pharmaceutical, etc.) with raw materials. In terms of the products' types manufactured, sheep breeding occupies the leading position among other branches of animal husbandry. However, transformations in the agrarian sector of the Ukrainian economy, a decrease the purchasing power of the population, the cancellation of state purchases of wool and targeted support caused the increasing of the negative trends in the sheep breeding industry. A sharp reduction of sheep population, a decrease in the volume of production and sale of the industry's products, a breakdown in the relations between production and processing, the deterioration of material and technical equipment and scientific support, the unprofitability of the vast majority of producers of sheep products have become characteristic features of post-

---

<sup>1</sup> Кіт В.Г., Самойленко А.П. Збитковість тваринництва можна ліквідувати *Наук. вісн. Львів. акад. вет. медицини ім. С.З. Гжицького*, Львів, 1999, Вип. 2. С. 199–204.

<sup>2</sup> Долішній М.І. Наукові основи розвитку тваринництва (економічний аспект) *Наук. вісн. Львів. акад. вет. медицини ім. С.З. Гжицького*, Львів, 1999, Вип. 2. С. 195–199.

<sup>3</sup> Сапего В.И., Плющенко С.И., Берник Е.В., Ляхов Е.Н. Профилактика нарушения обмена веществ у телят микроэлементами *Ветеринария с.-х. животных*, 2006. № 7. С. 50–52.

reformed sheep farming. This led to the fact that it is one of the most unprofitable branches of agriculture<sup>4</sup>.

And yet, sheep breeding is one of the branches of animal husbandry that can be profitable. Sheep have good wool and meat productivity, are multifertile, give a sufficient amount of highly nutritious milk, suitable for the production of cheese and other types of cheese. Rennet is taken from the lambs slaughtered on strips, from which rennet starter is made for the production of various types of cheese. Striped breeds give fur of unsurpassed quality, famous fur coats and coats are made from the skins of Romanov sheep. Sheep are excellent pastures users, eating grasses of the kind that cattle, horses, and pigs do not.

Many studies have proved that the level of blood components of the sheep body is unstable and depends on the breed, sex, physiological state, level of productivity and feeding, housing conditions, environment and other factors. Therefore, studying the status of various systems and organs of animals is important for the prevention of internal pathology and for improving the quality and safety of products<sup>5</sup>.

### **1. Trace minerals content in the Luhansk Region soil**

Mineral elements, depending on their biological role, can be divided into vitally important, conditionally important and elements with unexplored significance. Copper, zinc, manganese are part of the vital group, as they take part in most of the processes that take place in the body, in particular, in the construction of its tissues, maintenance of homeostasis and equilibrium of cell membranes, in the activation of chemical reactions by influencing direct enzyme systems or indirect action on the function of endocrine glands<sup>6</sup>.

These compounds activities in the body depends not only on their quantity in the ration, but also on their form. In this regard, the problem of microelements complex using organic substances (proteins, peptides and amino acids) becomes relevant in animal husbandry. It is important that the soil contains a sufficient number of mobile forms of trace elements.

Luhansk region is divided into 18 districts. Geographically, they can be divided into northern, central and southern districts (provinces). The first group includes Troitskiyi, Bilokurakinskiyi, Novopskovski, Markivskiy, Milovskiy, Bilovodskiy, Starobilskiy, Svativskiy and Kreminski districts. They are mostly bordering with the Donetsk region and the Russian Federation (except for Starobilskiy). The central districts of Luhansk region are Popasnyanskiyi, Novoaidarskiyi, Stanychno-Luhanskiyi, Slovyanoserbskiyi and Krasnodonskiyi, which are located closest to the Luhansk city.

---

<sup>4</sup> Сухарльов В.О., Дерев'яно О.П. Вівчарство : навч. посіб. Харків : Еспада, 2004. 256 с.

<sup>5</sup> Braun G.P., Trumel C., Bézille P. Clinical Biochemistry in Sheep: A Selected Review. Small Ruminant Research. 2010. Vol. 92, Is. 1/3. P. 10–18.

<sup>6</sup> Wiwanitkit V. Minor Heavy Metal: A Review on Occupation and Environmental Intoxication. Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine. 2008. Vol. 12, Is. 3. P 116–121.

The southern districts include Pereval'skiy, Lutuginskiy, Anratsyiv'skiy and Sverdlov'skiy.

Geographical zoning of Luhansk region in regard to the biogeochemical division depends on soil saturation with mobile forms of trace elements. Luhansk region is part of the Donbass three sub-districts, which correspond to the geographical division of the region. In general, the soils of eastern Ukraine have a high content of lead, zinc, copper, cobalt, and chromium.

Copper is one of the most important irreplaceable trace elements, which main function in the animal body is participation in the processes of tissue respiration and hematopoiesis<sup>7</sup>. Absorption of copper occurs in the upper part of the small intestine. After absorption, the element is deposited mainly in the liver, bone marrow, spleen, pancreas, and epiphyses of bones of young animals<sup>8</sup>.

Table 1

**The content of mobile forms of copper in the soils of the Luhansk region**

Districts	Average content by district, mg/kg	Level
1. Bilokurakinskiy	5.5	Average 5–7
2. Troitskiy	5.7	
3. Krasnodonskiy	6.0	
4. Markiv'skiy	6.1	
5. Lutuginskiy	6.1	
6. Milov'skiy	6.1	
7. Svativ'skiy	6.1	
8. Kreminskiy	6.2	
9. Novoaidarskiy	6.3	
10. Pereval'skiy	6.3	
11. Popasnianskiy	6.3	
12. Stanichno-Luhanskiy	6.5	
13. Bilovod'skiy	6.6	
14. Sverdlov'skiy	6.6	
15. Slovyanoserb'skiy	6.7	Elevated >7
16. Anratsyiv'skiy	7.4	
17. Novop'skov'skiy	7.4	
18. Starobil'skiy	9.7	

<sup>7</sup> Genetic Effects on Toxic and Essential Elements in Humans: Arsenic, Cadmium, Copper, Lead, Mercury, Selenium, and Zinc in Erythrocytes / B.J. Whitfield, et al. Environmental Health Perspectives. 2010. Vol. 118, Is. 6. P. 776–782.

<sup>8</sup> Genetic effects on toxic and essential elements in humans: arsenic, cadmium, copper, lead, mercury, selenium, and zinc in erythrocytes / B.J. Whitfield, et al. environmental health perspectives. 2010. vol. 118, is. 6. P. 776–782.

Copper is present in soils in a divalent form, it has a high migration ability in an acidic environment, however, at a very high level of acidity, it is fixed by soil organic matter. In an alkaline environment, copper is fixed in a hard-to-reach form, in the form of complex organic-mineral compounds<sup>9</sup>.

The copper content in the soils of almost all districts of the Luhansk region is within the normal range. On average, copper content probably does not differ in all geographical regions. However, the concentration of this element in the soil exceeds the normal rate in the Anthracite region (Southern province), Novopskovskyi and Starobilskyi regions (Northern province) and is, respectively, 7.4; 7.4 and 9.7 mg/kg. The copper content in the soil of the northern regions is  $6.03 \pm 0.13$ ; in the central ones –  $6.14 \pm 0.25$ ; in southern ones –  $6.33 \pm 0.15$  mg/kg. Therefore, only the Novopskovskyi and Starobilskyi districts, which are located in the northern part of the region and have an increased content of copper in the soil, are geographically connected. Anthratsyivskyi – the southern part of Luhansk region, bordering the Donetsk region in the south, also contains an increased concentration of copper – 7.4 mg/kg. In our opinion, this inconsistency with the geographical principle of the mobile forms distribution of this essential element is linked to the geographical proximity of the Antratsyivskyi district to Donetsk region (table 1), where there is a lot of copper. The geographical proximity of regions does not always correlate with the same level of copper in their soil, although some neighbouring regions have similar levels of this trace element (for example, Troitskyi and Bilokurakinskyi regions – 5.7 and 5.5 mg/kg).

Manganese belongs to the trace elements that exist in eight different oxidation conditions, but in the body it is found only in the divalent and trivalent compounds form<sup>10</sup>. It activates alkaline phosphatase and the synthesis of glycosaminoglycans in the bone matrix<sup>11</sup>.

Manganese is an element with high migration contrast. In the conditions of an alkaline environment, it is oxidized from divalent to tetravalent, the compounds of which are difficult to dissolve. In the acidic environment, it transforms to a soil solution and easily migrates<sup>12</sup>.

Five districts of Luhansk region were identified, where the concentration of manganese is below the norm (350 mg/kg) and ranges from 264 to 333

---

<sup>9</sup> Вміст купруму, мангану і цинку у ґрунтах Луганської області / П.В. Шарандак, та ін. *Наук. вісн. Луган. НАУ. Серія «Ветеринарні науки»*. Луганськ : Елтон-2, 2011. № 31. С. 235–243.

<sup>10</sup> Genetic Effects on Toxic and Essential Elements in Humans: Arsenic, Cadmium, Copper, Lead, Mercury, Selenium, and Zinc in Erythrocytes / B.J. Whitfield, et al. *Environmental Health Perspectives*. 2010. Vol. 118, Is. 6. P. 776–782.

<sup>11</sup> Вміст купруму, мангану і цинку у ґрунтах Луганської області / П.В. Шарандак, та ін. *Наук. вісн. Луган. НАУ. Серія «Ветеринарні науки»*. Луганськ : Елтон-2, 2011. № 31. С. 235–243.

<sup>12</sup> Hristov A.N., Hazen W., Ellsworth J.W. Efficiency of Use of Imported Magnesium, Sulfur, Copper, and Zinc on Idaho Dairy Farms. *Journal of Dairy Science*. 2007. Vol. 90. P. 3034–3043.

mg/kg. In addition, four of them: Novoaidarskyi, Popasnyanskyi, Kreminskyi and Starobilskyi districts border each other. It is important to underline that the western part of the centre of Luhansk region is poor for essential forms of manganese and can be singled out as a separate biogeochemical province deficient in manganese (Table 2).

It was established that in the Stanychno-Luhanskyi and Troitskyi districts of the Luhansk region, there is an increased content of manganese compounds (473 and 428 mg/kg, respectively). Since these districts are not geographically connected with each other, it can be considered that they belong to the biogeochemical regions with which they border: Troitsky district – with Kharkiv and Belgorod regions, Stanichno-Luhanskyi – with Rostov region of the Russian Federation.

Table 2

**The content of mobile forms of manganese  
in the soils of the Luhansk region**

Districts	Average content by district, mg/kg	Level
1. Novoaidarskyi	264	Low < 350
2. Popasnianskyi	288	
3. Kremenskyi	320	
4. Starobilskyi	328	
5. Krasnodonskyi	333	
6. Bilovodskyi	355	Medium 350–420
7. Anratsyivskyi	396	
8. Slovyanoserbtskyi	398	
9. Milovskyi	400	
10. Lutuginskyi	403	
11. Sverdlovskyi	407	
12. Novopskovskyi	410	
13. Markivskyi	412	
14. Perevalskyi	414	
15. Svativskyi	414	
16. Bilokurakinskyi	417	Raised > 420
17. Stanychno-Luhanskyi	428	
18. Troitskyi	473	

The average values of manganese content are the lowest in the central province of the region ( $320.8 \pm 29.45$  mg/kg), there is a tendency to their increase in the northern province ( $382.0 \pm 14.48$  mg/kg) and the maximum values in the southern province ( $405, 0 \pm 3.76$  mg/kg). With the exception of Troitskyi district, most of the northern province of Luhansk region contains a sufficient amount of manganese. The same applies to the southern province.

Districts deficient in manganese form a common region of four districts bordering each other (Table 2). The Krasnodonskyi district has deficiency in manganese.

The distribution of manganese is more variable than for copper, as it includes regions with three variants of manganese concentration – increased, corresponding to the norm and decreased.

Zinc is present in soils in the form of chelated compounds, as a secondary compound with organic and inorganic compounds<sup>13</sup>.

In the animal organism, the biological role of zinc is linked to activity of more than 200 metal enzymes participating in various metabolic processes<sup>14 15</sup>.

We have established that in two regions of the Central province geographically bordering each other, Novoaidarskyi and Popasnyanskyi, the concentration of zinc in the soil is below the norm and amounts to 6.0 and 7.4 mg/kg (Table 3).

Table 3

**The content of mobile forms of zinc in the soils of the Luhansk region**

Districts	Average content by district, mg/kg	Level
1. Novoaidarskyi	6.0	Low < 7.5
2. Popasnianskyi	7.4	
3. Stanichno-Luhanskyi	7.6	
4. Bilokurakinskyi	7.8	Average 7.5–9.5
5. Krasnodonskyi	7.8	
6. Markivskyi	8.3	
7. Novopskovskyyi	8.3	
8. Troitskyi	8.3	
9. Slovyanoserbtskyi	8.7	
10. Milovskyyi	9.3	
11. Perevalskyyi	9.6	Increased > 9.5
12. Starobilskyyi	9.7	
13. Antratsyivskyyi	10.3	
14. Bilovodskyyi	10.4	
15. Svativskyyi	10.8	
16. Sverdlovskyyi	11.2	
17. Kreminskyyi	11.8	
18. Lutuginskyyi	12.2	

<sup>13</sup> Вміст купруму, мангану і цинку у ґрунтах Луганської області / П.В. Шарандак, та ін. *Наук. вісн. Луган. НАУ. Серія «Ветеринарні науки»*. Луганськ : Елтон-2, 2011. № 31. С. 235–243.

<sup>14</sup> Hristov A.N., Hazen W., Ellsworth J.W. Efficiency of Use of Imported Magnesium, Sulfur, Copper, and Zinc on Idaho Dairy Farms. *Journal of Dairy Science*. 2007. Vol. 90. P. 3034–3043.

<sup>15</sup> Neathery M.W., Miller W.J. Metabolism and Toxicity of Cadmium, Mercury, and Lead in Animals : A Review. *Journal of Dairy Science*. 1975. Vol. 58, N 12. P. 1767–1781

The soils of 8 districts of Luhansk region contain high concentrations of zinc compounds. According to zinc content, two biogeochemical provinces in the middle of Luhansk region can be distinguished according to the geographical principle: Northern and Southern. The Northern province includes Svativskiyi, Kreminskiy, Starobilskiyi, and Bilovodskiyi districts, and the Southern province includes Perevalskiyi, Lutuginskiy, Antratsyivskiyi, and Sverdlovskiyi districts of the Luhansk region (Table 3). That is, according to the zinc content in the Luhansk region, there are clearly limited «layers» of grouped territories with similar zinc content. On average, the Northern province contains  $9.4 \pm 0.46$  mg/kg zinc, Central –  $7.5 \pm 0.44$  mg/kg; Southern –  $11.1 \pm 0.52$  mg/kg.

Having analysed all the above data on the content of copper, manganese and zinc, it is possible to distinguish several biogeochemical provinces in the Luhansk region, which are characterized by different contents of the above-mentioned essential trace elements. However, in each of these provinces there are districts that are exceptional in terms of the content of elements.

Thus, we included Troitskiy, Svativskiy, Bilokurakinskiy, Novopskovskiy, Markivskiy, Milovskiy, Bilovodskiy, Starobilskiy and Kreminskiy districts to the northern province, which are characterized by the average content of copper in the soil (except for the Novopskovskiy and Starobilskiy districts), average or slightly reduced (up to 320 mg/kg) manganese content (except Troitskiy district) and average or high zinc content.

The central biogeochemical province of Luhansk region included Popasnyanskiy, Novoaidarskiy, Stanichno-Luhanskiy, Slavyanoserbskiy and Krasnodonskiy districts. This area is characterized by an average concentration of mobile forms of copper in the soil, an average or low content (except for the Stanichno-Luhanskiy district) of manganese, and a low or average zinc content.

We included the Perevalskiy, Lutuginskiy, Anthracitivskiy, and Sverdlovskiy districts as part of the Southern biogeochemical province, which are characterized by an average content (except for the Anthracitivskiy district) of copper in the soils, an average content (except for the Krasnodonskiy district) of manganese, and an increased concentration of mobile forms of zinc (Table 4).

If we compare the absolute values of the copper manganese and zinc content, in the soils of different biogeochemical provinces of the Luhansk region, we come to the conclusion that the most essential trace elements are found in the soils of the Southern province. A significantly ( $p < 0.01$ ) higher concentration of manganese and zinc was found in the southern province of Luhansk region, compared to the central and northern provinces. Accordingly, in the northern biogeochemical province, the copper concentration is the lowest in the region, the number of mobile forms of manganese tends to increase, compared to the central regions, and the zinc content is probably



higher ( $p < 0.05$ ), compared to the Central biogeochemical province. In the central part of the Luhansk region, the lowest concentration of manganese and zinc in the soil was found, while the amount of copper practically does not differ from the indicators of other provinces (Table 4).

Table 4

**The average content of essential trace elements in soils of different biogeochemical provinces of Luhansk region**

Indicators	Copper, mg/kg	Manganese, mg/kg	Zinc, mg/kg
Northern Province	6.03±0.13	382.0±14.48	9.4±0.46
Central province	6.14±0.25	320.8±29.45	7.5±0.44*
Southern Province	6.33±0.15	405.0±3.76#	11.1±0.52*#

**Note.** \* –  $p < 0.05$  compared to the Northern Province;

# –  $p < 0.01$  compared to the Central Province.

**2. Content of Lead and Cadmium in soil of Luhansk Region**

Environmental problems in Ukraine came out because the structure of the economy, which had been developing for decades, did not correspond in many regions to their integral potential, the objective needs and interests of the people who lived here, and the ecological capabilities of a specific territory were not taken into consideration. The leading sectors of the economy of the eastern region of Ukraine are energy, engineering, mining and coal mining, and the chemical industry. Physically outdated equipment in these industries led to intensive use of energy, water, land, and sometimes uncontrolled emissions of pollutants into all components of nature<sup>16</sup>.

Cadmium is not a vital trace element. It has a specific biological effect on the exchange of physiologically important chemical elements, such as zinc, copper and iron. Cadmium has a general toxic and specific effect, and its compounds reduce the body's resistance to diseases<sup>17</sup>.

Cadmium cations are able to replace magnesium ions in the myosin active centre, as well as in areas essential for the actomyosin superprecipitation process. The main element accumulation occurs in the liver, where it is bound by a metalloprotein and this form enters the kidneys. The half-life of this toxicant from the specified organs in humans is more than 10 years, and the maximum intake of cadmium to the human body from the environment, according to WHO recommendations, should be no more than 1 µg/kg.

<sup>16</sup> Hristov A.N., Hazen W., Ellsworth J.W. Efficiency of Use of Imported Magnesium, Sulfur, Copper, and Zinc on Idaho Dairy Farms. *Journal of Dairy Science*. 2007. Vol. 90. P. 3034–3043.

<sup>17</sup> Neathery M.W., Miller W.J. Metabolism and Toxicity of Cadmium, Mercury, and Lead in Animals : A Review. *Journal of Dairy Science*. 1975. Vol. 58, N 12. P. 1767–1781.

The cadmium excess leads to restriction of zinc transport through the placenta due to excessive synthesis of metalloprotein in the mother's body. The toxic effect of cadmium induces the synthesis of metalloprotein, but since zinc is an even stronger inducer of it, it can increase the body's resistance to the toxic effect of cadmium. With nutritional deficiency of zinc in the body, the toxicity of cadmium increases. The content of cadmium in the blood of animals is almost 10 times higher than in endocrine tissues.

The main sources of cadmium entering the environment are enterprises for mining and processing of non-ferrous and ferrous metals, the chemical industry and agriculture. In the industrially developed areas, the concentration of cadmium exceeds the standards by tens of times, and almost a powerful sources of pollution – by hundreds and thousands of times<sup>18</sup>.

Cadmium belongs to the group of metals with its high embryotoxicity and carcinogenicity. It comes to the mammals organs with food and water and accumulates in the kidneys, liver, spleen, and thymus. Cadmium has a high cumulative property and it removes from the body very slowly. Absorption of metal from the gastrointestinal tract is affected by gender, age, weight and lactation.

It was established that the chronic effect of cadmium in the antenatal and postnatal periods of development leads to the changes of the number of formative elements of blood and cells of organs, the intensity of the process of lipid peroxidation. The detected changes depend on the concentration of the metal in drinking water and the duration of its entry to the animals body<sup>19</sup>.

Adaptation of animal body cells to the cadmium influence occurs through the activation of lipid peroxidation, mobilization of antioxidant protection and factors of non-specific immunity.

The increased concentration of this toxicant in the central and southern provinces is directly linked to the dense concentration of heavy industry facilities in these areas.

The presence of a large amount of cadmium in the soils of the Northern province of the Luhansk region is caused by intensive cultivation of crops, with the use of chemicals, as well as frequent cutting of the upper layer of the land.

---

<sup>18</sup> Шарандак П.В. Концентрація креатиніну та сечовини в сироватці крові кітних віцематок у залежності від вмісту у ґрунтах кадмію. Науковий вісник НУБіП України. Серія «Ветеринарна медицина, якість і безпека продукції тваринництва». Київ, 2011. Вип. 167, ч. I. С. 252–256.

<sup>19</sup> Neathery M.W., Miller W.J. Metabolism and Toxicity of Cadmium, Mercury, and Lead in Animals : A Review. Journal of Dairy Science. 1975. Vol. 58, N 12. P. 1767–1781.

Table 5

**The content of mobile forms of cadmium in the soils  
of the Luhansk region**

Districts	Areas of Cadmium	
	M±m, mg/kg	% pollution
Stanichno-Luhanskyi	0.51±0.0001	6.3
Slovyanoserbskyi	0.51±0.0001	5.1
Belokurakinskyi	0.51±0.0001	2.9
Novopskovskyi	0.48±0.0001	4.8
Milovskyi	0.47±0.0001	4.7
Troitskyi	0.47±0.0001	3.7
Lutuginskyi	0.46±0.0001	10.7
Svativskyi	0.44±0.0001	2.6
Marivskyi	0.43±0.0001	2.6
Anratsyitivskyi	0.41±0.0001	0
Perevalskyi	0.40±0.0001	0.75
Sverdlovskyi	0.40±0.0001	0.3
Popasnyanskyi	0.39±0.0001	2.7
Belovodskyi	0.36±0.0001	2.04
Krasnodonskyi	0.35±0.0001	2.9
Starobelskyi	0.34±0.0001	2.2
Novoaidarskyi	0.33±0.0001	1.0
Kreminskyi	0.28±0.0001	1.3
In the region	0.41±0.0001	3.0

As to our opinion, the most important changes in internal organs condition of domestic sheep (liver and kidneys) will be observed in the north, in the Troitskyi and Markivskyi districts, and in the South – in the Slovyanoserbskyi and Stanychno-Luhanskyi districts (Table 5). In these areas, there are no lands rich with manganese, and its deficiency provokes severe cadmium intoxication.

During the examination of sheep from the Slovyanoserbskyi district, we established hypercreatininemia comparing to the high cadmium concentration in the soil (0.51 mg/kg), i.e., there is a directly proportional relationship between the concentration of cadmium in the soil and creatinine in the serum blood. Persistent hypercreatinemia in sheep of the Krasnodonskyi district (cadmium content – 0.35 mg/kg), in our opinion, has a different nature – it is associated with a Manganese high level in the soil (333 mg/kg), which is a zinc antagonist, and also enhances the nephrotoxic effect of cadmium.

There is a relationship between the blood urea concentration and the number of cadmium-contaminated areas. Thus, in the Lutuginskyi district, we established hyperazotemia in domestic sheep against the exceeding the maximum permissible limit of cadmium by 10.7 % of the territory of the district. No increase in urea concentration was observed in the sheep blood

serum of the Markivskiy district, where 2.6 % of territories are contaminated with cadmium<sup>20</sup>.

It is well known that lead belongs to the group of heavy metals, which concentrations above 10 mg/kg in the soil have a negative influence on metabolic processes in the alive organisms.

Natural sources of lead are the waters with mineral dissolution processes. A significant increase in the lead content in the environment is associated with the coal burning, the use of tetraethyl lead in motor fuel as an anti-detonator, the waste originates from ore processing plants, metallurgical plants, chemical plants, mines, etc. with wastewater.

Lead is an industrial poison that can cause contamination under adverse conditions<sup>21</sup>. It comes to the animals body mainly via the respiratory and digestive organs, and eliminates from the body very slowly and accumulates in bones, liver and kidneys<sup>22</sup>.

Table 6

**The lead content in the soils of the Luhansk region**

Districts	Areas of Plumbum	
	M±m, mg/kg	% pollution
Svativskiy	9.1±0.0003	17
Lutuginskiy	8.1±0.0011	8
Stanichno-Luhanskiy	7.7±0.0004	5.5
Slovyanoserbyskiy	7.5±0.0001	6.4
Markovskiy	7.5±0.0009	0.6
Milovskiy	7.3±0.0010	0.5
Novopskovskiy	7.3±0.0007	1.8
Anratsyivskiy	7.3±0.0013	0.5
Perevalskiy	6.9±0.0033	19
Troitskiy	6.9±0.0004	6
Bilokurakinskiy	6.4±0.0004	2.6
Sverdlovskiy	5.5±0.0021	0.6
Krasnodonskiy	5.1±0.0006	0.4
Popasnyanskiy	4.2±0.0006	0
Novoaidarskiy	3.9±0.0003	0.16
Bilovodskiy	3.5±0.0003	0
Starobilskiy	3.5±0.0002	0
Kremenskiy	3.4±0.0002	0
In the region	5.3±0.0001	3.6

<sup>20</sup> Шарандак П.В. Концентрація креатиніну та сечовини в сироватці крові кітних вівцематок у залежності від вмісту у ґрунтах кадмію. Науковий вісник НУБіП України. Серія «Ветеринарна медицина, якість і безпека продукції тваринництва». Київ, 2011. Вип. 167, ч. I. С. 252–256.

<sup>21</sup> Neathery M.W., Miller W.J. Metabolism and Toxicity of Cadmium, Mercury, and Lead in Animals : A Review. Journal of Dairy Science. 1975. Vol. 58, N 12. P. 1767–1781.

<sup>22</sup> Вміст купруму, мангану і цинку у ґрунтах Луганської області / П.В. Шарандак, та ін. Наук. вісн. Луган. НАУ. Серія «Ветеринарні науки». Луганськ : Елтон-2, 2011. № 31. С. 235–243.

We found out that the highest concentration of lead was detected in the soils of the Svativskiy district on the border with the Kharkiv region –  $9.1 \pm 0.0003$  mg/kg (2.7–17.2). We believe that it is due to the presence of a large number of mobile forms of compounds of this element in the soils of this area and water pollution, taking into consideration that there are no large industrial facilities here. It is possible that this province contains a large number of natural contaminants, namely lead-bearing ores. The lead high concentration in the Lutuginskiy, Stanychno-Luhanskiy, and Slovyanoserbyskiy districts is linked to the high concentration of industrial facilities – environmental pollutants – in the south of the region.

The lead high content in the agrarian Markivskiy, Milovskiy, and Novopskovskiy districts is probably linked to the fact that oil and gas pipelines from the Russian Federation go through these areas, as well as the migration of lead compounds from the water arteries of the region.

Depending on the pollution of Luhansk region with lead compounds, it is possible to distinguish provinces with a higher (compared to the average indicator for the region) content of this element in the soil. In the north province it includes the following districts Troitskiy, Svativskiy, Bilokurakynskiy, Novopskovskiy, Markivskiy and Milovskiy. The southern province includes the Perevalskiy, Slovyanoserbyskiy, Stanichno-Luhanskiy, Lutuginskiy and Antracitivskiy districts. While looking at the region map, it is possible to see that these districts are separated from each other by Kreminskyy, Starobilskiy, Bilovodskiy, Novoaidarskiy and Popasnyanskiy districts in the north, and Krasnodonskiy and Sverdlovskiy in the south. This information creates a suggestion that such a demarcation, depending on the contamination of territories with lead, became possible in the southern districts due to the fact of the well-developed structure of the heavy industry. In the north of the region, the agriculture branch is dominating. We suggest that the pollution in the northern districts of the Luhansk region is linked to the presence of mobile forms of this heavy metal in the soil, due to the oil and gas pipelines transit on the territory of these districts, as well as the prevailing northern winds in the region, which brings the contaminated air to these territories.

A very important indicator is also the number of territories contaminated with lead exceed the maximum permitted concentration. The largest number of such lands is in Perevalskiy district – 19 %, Svativskiy – 17 %, Lutuginskiy – 8 %, Slavyanoserbyskiy – 6.4 %, Troitskiy and Stanichno-Luhanskiy – 6.0 and 5.5 %, respectively.

It is important to note that the soils of the Lutuginskiy district contain the highest level of lead (8.1 mg/kg) and the largest one territory with the content of lead (8 %) and cadmium (10.7%) that exceeds the maximum permissible levels (10 and 0,7 respectively mg/kg).

Attention is drawn to the pollution of the Slovyanoserbyskiy district, which borders with Lutuginskiy district. The average content of cadmium in the soils is the highest comparing to all other five districts (0.51 mg/kg), lead is slightly less than in the southern region (7.5 mg/kg), and the area contaminated by both toxicants is the largest among the four districts (5.1 and 6.4 %, respectively).

### 3. Water quality in Luhansk Region

Water is the most important component of the life of all alive organisms. It serves as an integral indicator for the plant and animal worlds and man. Water quality is assessed by a complex of chemical, biological components, and physical properties that determine its suitability for certain types of water use. Its quality is evaluated according to the characteristics that are selected and standardized depending on the purpose of using water resources<sup>23</sup>. As a limiting factor, a feature characterized by the lowest harmless concentration of a substance in the sampled water. General numerical water quality testing is carried out according to the index, which is a set of main indicators by types of the used water. The water quality, composition and its properties in the reservoirs are regulated by hygienic requirements and sanitary standards<sup>24</sup>.

An excess the norm of color and dry residue indicates an excessive amount of pollutants in drinking water<sup>25</sup>. The water of all 5 districts, where the study was implemented, contained an excessive content of chlorides and sulfates, which caused the development of uro- and cholelithiasis in animals due to the cumulation of insoluble salts of the above-mentioned acids. In addition to this, an excessive amount of chlorine compounds leads to the violation of the water-salt balance in the body and is a sodium antagonist, in case of binding with which the status of the sodium-calcium pump is disturbed. These processes lead to disruption of excitation processes in the muscle tissue and myocardium<sup>26</sup>.

---

<sup>23</sup> Закон України Про Загальнодержавну цільову програму «Питна вода України» на 2011-2020 роки. Голос України. 2005. С. 10–12.

<sup>24</sup> Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання : ДСТУ 4808:2007. Вид. офіц. Чинний від 2009-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. III, 36 с. (Національний стандарт України).

<sup>25</sup> Державні санітарні правила і норми «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання» : затв. наказом М-ва охорони здоров'я України 23.12.96 № 383. Офіційний вісник України. 1997. № 16. С. 131.

<sup>26</sup> Luo S., Trübel H., Wang C., Pauluhn J. Phosgene- and chlorine-induced acute lung injury in rats: comparison of cardiopulmonary function and biomarkers in exhaled breath. Toxicology. 2014. Vol. 326. P. 109–118.

Table 4

**Indexes of chemical conditions of water of the Luhansk region farm**

Index	Lutuginsk yi district	Krasnodon nyskiy district	Slovyanos erbskiy district	Markivsk yi district	Troitskiy district	Normal indexes, due to DSTU 2.2.4-171-10
Smell, in marks	2	2	2	2	2	2
Color in degrees	<b>44</b>	<b>73</b>	<b>34</b>	<b>32</b>	<b>37</b>	20
pH	8,3	8,3	8,4	8,4	8,5	6,5–8,5
Dry matter, mg/dm <sup>3</sup>	<b>2010</b>	<b>2148</b>	<b>1136</b>	<b>1121</b>	<b>1132</b>	1000
Iron common, mg/dm <sup>3</sup>	0,1	<b>0,29</b>	0,1	0,1	<0,1	0,2
Chlorides, mg/dm <sup>3</sup>	<b>260</b>	<b>280</b>	<b>288</b>	<b>269</b>	<b>269</b>	250
Sulphates, mg/dm <sup>3</sup>	<b>890</b>	<b>935</b>	<b>343</b>	<b>310</b>	<b>310</b>	250
Ammonia, mg/dm <sup>3</sup>	0,1	<b>1,7</b>	0,02	0,08	<b>1,2</b>	0,5
Nitrates, mg/dm <sup>3</sup>	18	15,3	0,91	1,0	3,8	45
Nitrites, mg/dm <sup>3</sup>	<b>0,16</b>	0,34	0,03	0,03	0,04	0,1
Cadmium, mg/dm <sup>3</sup>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Copper, mg/dm <sup>3</sup>	0,012	0,001	0,02	0,01	0,001	1
Lead, mg/dm <sup>3</sup>	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01
Zinc, mg/dm <sup>3</sup>	0,31	0,001	0,28	0,16	0,001	1
Nickel, mg/dm <sup>3</sup>	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,02
Manganese, mg/dm <sup>3</sup>	<b>0,058</b>	0,001	0,034	0,021	0,001	0,05

**Note.** Indicators exceeding the norm are highlighted in bold

Water containing more than 0.3 mg of iron in 1 liter is considered not suitable for human consumption. Livestock is also not tolerant to the high content of this element. Water iron is more available for absorption than feed originated, and therefore more toxic. An excess of total iron by 45 %, comparing to the norm, in the Krasnodon district water is the reason of bone damage in sheep raised on this territory. This conclusion is proved by the results of biochemical studies<sup>27</sup>.

Ammonia is an inorganic compound, a colorless gas with a pungent, suffocating odor, lighter than air, and highly soluble in water. In the case of ammonia poisoning, difficulty breathing is observed, mainly damage to the

<sup>27</sup> Xiao H.T., Wang L., Yu B. Superparamagnetic iron oxide promotes osteogenic differentiation of rat adipose-derived stem cells. International Journal of Clinical Experimental Medicine. 2015. Vol. 8, Is. 1. P. 698–705.

upper respiratory tract<sup>28</sup>. Such changes can occur in animals of the Krasnodon and Troitsky districts, where in the water the content of this toxicant is 3.4 and 2.4 times higher comparing to the norm (0.5 mg/dm<sup>3</sup>).

Nitrites (salts of nitric acid) come to the water with domestic and agricultural runoff, and the highest concentration of nitrites is observed in surface springs, groundwater, and yard wells. Once in the body, nitrites cause the oxidation of divalent iron, contained in oxyhemoglobin and hemoglobin, into trivalent iron with the methemoglobin creation, a compound that does not transport oxygen and causes its deficiency in tissues (hypoxia)<sup>29</sup>.

Water used for animals in the Lutuginskyi and Krasnodonskyi districts, contains the nitrites concentration which exceeds the normal indicators by 1.6 and 3.4 times, that can be detected by intestinal damage and an increase in the methemoglobin content in the animals blood.

Manganese is an essential element, but its excessive amount in water resources causes hepatotoxic and nephrotoxic effects<sup>30</sup>. Thus, in the water sampled in the Lutuginskyi district, the concentration of this element increased by 16% against the norm, which proves the causes of damage in the sheep liver and kidneys.

On the Ukraine territory, up to 90 % of used natural resources turn into waste, which after causes the environment pollution. The largest number of them is formed on the territory of Dnipropetrovsk, Donetsk, Zaporizhzhia and Luhansk regions. Water and soil contamination with heavy metals, salts of sulfate, chloride, nitrate, and nitric acids is one of the reasons of the internal pathology in animals<sup>31</sup>.

#### **4. Sheep internal pathology distribution**

During the clinical examination of 385 sheep, no changes in the general condition were found, but signs of internal pathology were detected in the analysis of organs following the sheep slaughtering and liver biopsies. Base on these studies, analysis of feeding, changes in blood and urine, skin, color of the conjunctiva, the following diseases were established: hepatodystrophy, nephrosis, osteodystrophy, trace element diseases (cuprum, zinc and/or manganese deficiency), as well as combined pathology of the liver and kidneys (hepatodystrophy + nephrosis), hepato– and osteodystrophy and polymicroelement deficiency. Liver pathology (30.9 % of the examined

---

<sup>28</sup> Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування : навч. посіб. для студентів вищих навч. Закладів. Львів : Новий Світ-2000, 2003. 248 с.

<sup>29</sup> Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування : навч. посіб. для студентів вищих навч. Закладів. Львів : Новий Світ-2000, 2003. 248 с.

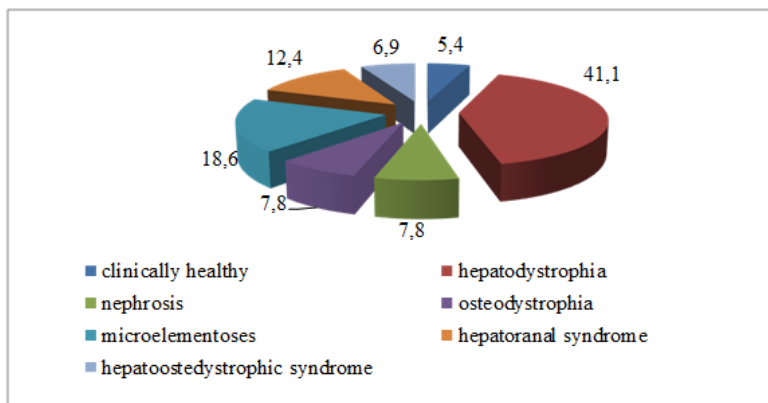
<sup>30</sup> Водне господарство в Україні / за ред. А.В. Яцика, В.М. Хорєва. Київ : Генеза, 2000. 29 с.

<sup>31</sup> Моніторинг мікроелементів, їх корекція та якість продукції / Р.Й. Кравців, та ін. Наук. вісник Львів. нац. акад. вет. медицини імені С.З. Гжицького. Львів, 2005. Т. 7, № 1, Ч. 1. С. 81–89.



animals) and hepatorenal syndrome (19.7 %) became the most common ones. The combined pathology of kidneys and liver in the group of lactating animals is on the first place, and their place in the non-infectious diseases structure is 29.7 %. The second most common position is hepatodystrophy (25.0 %), which includes high number of ewes, with combined pathology of the liver and bone tissue (15.6%) and microelementosis (14.1 %). Osteodystrophy is very common among sheep (18.6 %), hepatodystrophy and microelementosis – among some animals (41.1 and 18.6 %) (Fig. 7.1 a). Nephrosis was the most often diagnosis in cats and single animals (7.8% in each group), and hepato-osteodystrophic syndrome was detected in lactating animals (15.6%) (Fig. 7.1 b), c)).

Among the total number of tested animals, liver diseases are the most common: hepatodystrophy presents 30.9% and hepatorenal syndrome presents 19.7%. Microelement diseases (both mono– and combined deficiencies of manganese, copper, and zinc), present 14.8%, osteodystrophy (9.6%), and combined pathology of the liver and bone tissue – 7.6% were diagnosed not very frequent (Fig. 7.2).



**Fig. 7.2. Ewes internal pathology distribution, in %**

## CONCLUSIONS

Depending on the content of copper, zinc and manganese in the soil, three biogeochemical provinces can be distinguished in the Luhansk region territory: northern, central and southern. The northern biogeochemical province is characterized by the average copper content in the soil –  $6.03 \pm 0.131$  mg/kg (except for the Novopskovskyi and Starobilskyi districts), average or slightly reduced (up to 320 mg/kg) – manganese (except for the Troitskyi district) –  $382.0 \pm 14.48$  mg/kg and average or elevated zinc

content –  $9.4 \pm 0.46$  mg/kg. The average content of mobile forms of copper in the central biogeochemical province soils is ( $6.14 \pm 0.251$  mg/kg), average or low (except for the Stanychno-Luhanskyi district) – manganese ( $320.8 \pm 29.45$  mg/kg) and zinc ( $7, 5 \pm 0.44$  mg/kg). The southern province is characterized by an average content (except for the Anratsyivskyi district) of copper ( $6.3 \pm 0.15$ ) and manganese ( $405.0 \pm 3.76$  mg/kg) (except for the Krasnodonskyi district) and a high level of zinc ( $11, 1 \pm 0.52$  mg/kg).

The highest concentration of cadmium was found in the soils of Slovyanoserbyskyi, Stanychno-Luhanskyi and Bilokurakinskyi districts ( $0.51 \pm 0.0001$  mg/kg), lead in Svativskyi ( $9.1 \pm 0.0003$  mg/kg), Lutuginskyi ( $8, 1 \pm 0.0011$  mg/kg), Slovyanoserbyskyi ( $7.5 \pm 0.0001$ ) and Markivskyi ( $7.5 \pm 0.0009$ ) (limit permissible – 0.7 and 10 mg/kg, respectively). The most cadmium contaminated territories are in the Lutuginskyi (10.7%), Stanychno-Luhanskyi (6.3%) and Slovyanoserbyskyi (5.1%) districts, with lead – in the Perevalskyi (19%), Svativskyi (17.0% %), Lutuginskyi (8.0%) and Slovyanoserbyskyi (6.4%).

The water tests from the territories of the Luhansk region (where we tested animals, in Lutuginskyi, Krasnodonskyi, Slovyanoserbyskyi, Markivskyi and Troitsky districts) showed that the water for animals consumption does not meet the Ukrainian standards from 4 to 7 indicators are out of 16.

According to the results of the ewes examination (in five districts of the Luhansk region) the following internal diseases and syndromes were diagnosed: hepatodystrophy (30.9 %), nephrosis (5.2 %), osteodystrophy (9.6 %), microelementosis (14.8 %), hepatorenal (19.7 %) and hepatosteodystrophic (7.6 %) syndromes.

## SUMMARY

Nowadays, at the threshold of the 21st century, the environmental problems got the global status. People aware of the danger of shortening life on Earth due to its influence on the scale of nature use, the intensity of management, and the pollution of the natural environment.

Geographical zoning of Luhansk region into biogeochemical provinces depends on soil saturation with mobile forms of trace elements. Luhansk region is part of three Donbass sub-districts, which correspond to the geographical division of the region. In general, the soils of eastern Ukraine have a high content of lead, zinc, copper, cobalt, and chromium. The northern biogeochemical province is characterized by the average content of copper in the soil –  $6.03 \pm 0.131$  mg/kg (except for the Novopskovskyi and Starobilskyi districts), average or slightly reduced (up to 320 mg/kg) – manganese (except for the Troitsky district) –  $382.0 \pm 14.48$  mg/kg and average or elevated zinc content –  $9.4 \pm 0.46$  mg/kg. The central biogeochemical province soils contain the average of mobile forms of copper ( $6.14 \pm 0.251$  mg/kg), average or low

(except for the Stanichno-Luhanskyi district) – manganese ( $320.8 \pm 29.45$  mg/kg) and zinc ( $7, 5 \pm 0.44$  mg/kg). The southern province is characterized by an average content (except for the Anratsyivskyi district) of copper ( $6.3 \pm 0.15$ ) and manganese ( $405.0 \pm 3.76$  mg/kg) (except for the Krasnodonskyi district) and a high level of zinc ( $11, 1 \pm 0.52$  mg/kg).

The highest concentration of cadmium was detected in the soils of Slovyanoserbyskyi, Stanychno-Luhanskyi and Bilokurakinskyi districts ( $0.51 \pm 0.0001$  mg/kg), lead in Svativskyi ( $9.1 \pm 0.0003$  mg/kg), Lutuginskyi ( $8.1 \pm 0.0011$  mg/kg), Slovyanoserbyskyi ( $7.5 \pm 0.0001$ ) and Markivskyi ( $7.5 \pm 0.0009$ ) (limit permissible – 0.7 and 10 mg/kg, respectively). The territories which are the most contaminated with cadmium are in the Lutuginskyi (10.7%), Stanychno-Luhanskyi (6.3%) and Slovyanoserbyskyi (5.1%) districts, with lead – in the Perevalskyi (19%), Svativskyi (17.0%), Lutuginskyi (8.0%) and Slovyanoserbyskyi (6.4%).

The water testing from the Luhansk region territories, where the animals were our subject of investigations – Lutuginskyi, Krasnodonskyi, Slovyanoserbyskyi, Markivskyi and Troitskyi districts, showed that the water for animals consumption does not meet the Ukrainian standards from 4 to 7 indicators out of 16.

According to the results of the ewes examination (in five districts of the Luhansk region) the following internal diseases and syndromes were diagnosed: hepatodystrophy (30.9%), nephrosis (5.2%), osteodystrophy (9.6%), microelementosis (14.8%), hepatorenal (19.7%) and hepatosteodystrophic (7.6%) syndromes.

### Bibliography

1. Кіт В.Г., Самойленко А.П. Збитковість тваринництва можна ліквідувати *Наук. вісн. Львів. акад. вет. медицини ім. С.З. Гжицького*, Львів, 1999. Вип. 2. С. 199–204.
2. Долішній М.І. Наукові основи розвитку тваринництва (економічний аспект) *Наук. вісн. Львів. акад. вет. медицини ім. С.З. Гжицького*, Львів, 1999, Вип. 2. С. 195–199.
3. Беженар І.М. Організаційно-економічні засади розвитку вівчарства в Україні : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.03. Київ, 2014. 20 с.
4. Сухарльов В.О., Дерев'яно О.П. Вівчарство : навч. посіб. Харків : Еспада, 2004. 256 с.
5. Braun G.P., Trumel C., Bézille P. Clinical Biochemistry in Sheep: A Selected Review. *Small Ruminant Research*. 2010. Vol. 92, Is. 1/3. P. 10–18.
6. Wiwanitkit V. Minor Heavy Metal: A Review on Occupation and Environmental Intoxication. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2008. Vol. 12, Is. 3. P 116–121.

7. Genetic Effects on Toxic and Essential Elements in Humans: Arsenic, Cadmium, Copper, Lead, Mercury, Selenium, and Zinc in Erythrocytes / B.J. Whitfield, et al. *Environmental Health Perspectives*. 2010. Vol. 118, Is. 6. P. 776–782.

8. Вміст купруму, мангану і цинку у ґрунтах Луганської області / П.В. Шарандак, та ін. *Наук. вісн. Луган. НАУ. Серія «Ветеринарні науки»*. Луганськ : Елтон-2, 2011. № 31. С. 235–243.

9. Hristov A.N., Hazen W., Ellsworth J.W. Efficiency of Use of Imported Magnesium, Sulfur, Copper, and Zinc on Idaho Dairy Farms. *Journal of Dairy Science*. 2007. Vol. 90. P. 3034–3043.

10. Neathery M.W., Miller W.J. Metabolism and Toxicity of Cadmium, Mercury, and Lead in Animals : A Review. *Journal of Dairy Science*. 1975. Vol. 58, N 12. P. 1767–1781.

11. Шарандак П.В. Концентрація креатиніну та сечовини в сироватці крові кітних вівцематок у залежності від вмісту у ґрунтах кадмію. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Ветеринарна медицина, якість і безпека продукції тваринництва»*. Київ, 2011. Вип. 167, ч. I. С. 252–256.

12. Закон України Про Загальнодержавну цільову програму «Питна вода України» на 2011-2020 роки. *Голос України*. 2005. С. 10–12.

13. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання : ДСТУ 4808:2007. Вид. офіц. Чинний від 2009-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. III, 36 с. (Національний стандарт України).

14. Державні санітарні правила і норми «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання»: затв. наказом М-ва охорони здоров'я України 23.12.96 № 383. *Офіційний вісник України*. 1997. № 16. С. 131.

15. Luo S., Trübel H., Wang C., Pauluhn J. Phosgene- and chlorine-induced acute lung injury in rats: comparison of cardiopulmonary function and biomarkers in exhaled breath. *Toxicology*. 2014. Vol. 326. P. 109–118.

16. Xiao H.T., Wang L., Yu B. Superparamagnetic iron oxide promotes osteogenic differentiation of rat adipose-derived stem cells. *International Journal of Clinical Experimental Medicine*. 2015. Vol. 8, Is. 1. P. 698–705.

17. Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування : навч. посіб. для студентів вищих навч. Закладів. Львів : Новий Світ-2000, 2003. 248 с.

18. Водне господарство в Україні / за ред. А.В. Яцика, В.М. Хорева. Київ : Генеза, 2000. 29 с.

19. Моніторинг мікроелементів, їх корекція та якість продукції / Р.Й. Кравців, та ін. Наук. вісник Львів. нац. акад. вет. медицини імені С.З. Гжицького. Львів, 2005. Т. 7, № 1, Ч. 1. С. 81–89.

**Information about the authors:**

**Sharandak Pavlo Vasyliovych,**

Doctor of Veterinary Sciences,

Professor at the department of therapy and clinical diagnostics

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

15, Heroyiv Oborony str., Kyiv, 03041, Ukraine

**Grushanska Nataliia Gennadiivna,**

Doctor of Veterinary Sciences,

Head of the Department of Therapy and Clinical Diagnostics

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

15, Heroyiv Oborony str., Kyiv, 03041, Ukraine

**Sharandak Valentyna Vasylivna,**

Candidate of Veterinary Sciences,

PVS Pathway Programme Manager Capacity Building Department

World Organization for Animal Health

12, rue de Prony, Paris, 75017, France

# 04

## CHAPTER



**European  
integration  
prospects for the  
development of  
Ukraine's agrarian  
economy**

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТУ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ У ГАЛУЗІ ТВАРИННИЦТВА

Колодійчук В. А., Гримак О. Я., Колодійчук І. А.

### ВСТУП

Системний підхід є основою методології наукового пізнання об'єктів та явищ природничого, соціально-економічного, техніко-технологічного та іншого спрямування. Дослідження структурних елементів у взаємозв'язку та взаємозалежності дає змогу встановити причинно-наслідкові зв'язки та спрогнозувати перспективи змін системи на основі існуючих закономірностей. Тому поняття системи є базисом для аналізу, оцінки й прогнозування поведінки всіх її складових елементів.

Логістична система у галузі тваринництва є сукупністю елементів (підсистем), що забезпечують переміщення матеріального (м'ясо-молочного) потоку логістичними ланцюгами від первинного джерела сировини (ферми) до кінцевих споживачів готової продукції (галузевих підприємств харчової промисловості) та видозмінюють м'ясо-молочний потік у процесі застосування до нього операцій у функціональних сферах заготівельної та переробної промисловості. М'ясо та молоко від виробників до кінцевих споживачів під впливом просторово-часових параметрів проходить певні етапи, залучаючи при цьому значну кількість інфраструктурних елементів. Сформована лінійно впорядкована множина цих елементів (учасників логістичного ланцюга), консолідує зусилля на отримання фінансових ресурсів за реалізовану кінцеву продукцію. Ця умова є спільною метою і відповідальністю для кожного елемента логістичного ланцюга, оскільки порушення часових і просторових параметрів дискретності матеріальних потоків призведуть до спільних втрат кожного учасника логістичного ланцюга, незалежно від якості та повноти виконання ним визначених функцій.

Основні положення концепції логістики щодо галузі тваринництва є визначальним задумом реалізації логістичних функцій, що відображають дослідницькі погляди на ведення логістичної діяльності. Характеризуючи галузеві системи, принципи відображають найсуттєвіші характеристики, які притаманні функціонуванню системи, без яких вона не реалізувала б свого цільового призначення. Формулювання основних положень концепції логістики, що адаптовані до умов об'єктів дослідження, а також визначення засадничих принципів

аналізу, проектування та менеджменту логістичних систем дає базис для створення теоретичного фундаменту якісних перетворень на м'ясо-молочному ринку України.

### **1. Дефініції теорії систем у логістиці матеріальних потоків**

На початку 70-х років ХХ століття домінуючою методологією світової економічної науки було використання системного підходу у прикладних дослідженнях об'єктів і явищ, що безумовно стало концептуальною основою наукового пізнання. Лише у системному дослідженні взаємозв'язку та залежності між складовими елементами системи можна оцінити її стан на основі існуючих тенденцій та дати прогноз майбутньої поведінки.

Теорія систем тісно пов'язана з системним підходом і визначає його методологічний інструментарій і принципи розвитку. Загальнотеоретичне вивчення систем є предметом їх видової класифікації, а також дослідження фундаментальних принципів і законів поведінки та розвитку. У рамках теорії систем загальні характеристики складної організації розглядаються через призму фундаментальних факторів, таких як структура системи та характеристики її елементів (підсистем), а також параметри середовища її функціонування.

Фундаментальні та прикладні дослідження теорії систем висвітлені у наукових працях Л. Берталанфі<sup>1</sup>, Ф. Еглера<sup>2</sup>, Гиг Дж. Вана<sup>3</sup>, А. Рапопорта і В. Хорвата<sup>4</sup>, А. Холла<sup>5</sup>, О. М. Горбаня<sup>6</sup>, а також багатьох інших.

Розвиток епістемології (*грецькою еπιστήμη – знання, λόγος – вчення*) у ХХ столітті доводить, що системний підхід є «...єдиним шляхом з'єднати в єдине ціле шматки нашого роз'єданого світу і досягнути впорядкованості замість хаосу»<sup>3</sup> і науково-методологічною концепцією дослідження об'єктів слугує загальна теорія систем. Перший варіант цієї теорії був запропонований австрійським біологом Людвігом фон Берталанфі (1901–1972 рр.) і його основна ідея полягала у визнанні ізоморфізму (*властивість, що виражає однаковість будови якихось сукупностей елементів, незалежно від природи цих елементів*) законів, що керують функціонуванням системних об'єктів, та еквіфінальності

---

<sup>1</sup> Bertalanffy L. von. General System Theory – A Critical Review. General Systems. 1962. Vol. VII. P. 1–20.

<sup>2</sup> Egler F. E. Bertalanffian organismism. Ecology. 1953. Vol. 34. P. 443–446.

<sup>3</sup> John P. Van Gigch. Applied General Systems Theory. University of Michigan: Harper & Row, 1978. B. 2. 602 p.

<sup>4</sup> Rapoport A. Thoughts on Organization Theory and a Review of Two Conferences. General Systems. 1959. Vol. IV. P. 87–93.

<sup>5</sup> Hall A. D. A Methodology for Systems Engineering. Princeton, NJ : Van Nostrand, 1962. P. 139–145.

<sup>6</sup> Горбань О. М., Бахрушин В. Є. Основи теорії систем і системного аналізу. Запоріжжя : ГУ «ЗІ– ДМУ», 2004. 204 с.



(досягнення системою одного й того самого кінцевого стану за різних початкових умов). Найважливішими досягненнями Людвіга фон Берталанфі були узагальнення змісту відкритої системи на основі пошуку структурної подібності законів у різних прикладних науках і усвідомлення значення обміну енергією, речовиною та інформацією між системою і навколишнім середовищем як умови її розвитку<sup>7</sup>.

Основними рисами сучасної глобальної економіки є те, що це:

1) *економіка інформаційного суспільства*, яка є закономірним етапом переходу розвитку людства від індустріальної ери початку ХХ ст. до інформаційної ери кінця цього століття і визначає пріоритетність інформації серед інших виробничих ресурсів, як основи для формування знань та моделі поведінки виробничо-збутової системи;

2) *економіка із мережевими формами організації бізнесу*, яка є не лише самостійною ознакою економіки, а й продуктом економічної інформатизації та глобалізації. Мережа стає візитною карткою впровадження межі між централізованим і децентралізованим управлінням. За мережевими принципами підприємства формують внутрішні та зовнішні зв'язки;

3) *економіка сервісного типу*, прояв якої полягає в тому, що підвищується роль сервісу в процесі взаємодії підприємств з клієнтами. Процес персоналізації потреб споживачів є ключовим елементом товарно-збутової політики підприємств;

4) *економіка, в якій бізнес-процеси розвиваються на основі контрактів*, що втілює свободу організаційно-економічної поведінки підприємств у відносинах з діловими партнерами в правовому полі<sup>7</sup>.

Усі зазначені характеристики сучасної економіки є результатом системної взаємодії різних елементів, що актуалізує системний підхід у вивченні економічних процесів.

З точки зору методології наукового пізнання системні дослідження дозволяють об'єктивно оцінювати стан її елементів і на основі відповідних критеріїв приймати управлінські рішення. Визначення категорії «система» різняться, що значною мірою пов'язано з різнобічними підходами до її характеристики різними вченими, що спричинено різноманітністю сфер та прикладних напрямів їх наукових досліджень. Зрештою, поняття системи є невід'ємною складовою усіх сфер людського життя, а відповідні прикладні дослідження у природничих, суспільно-політичних, економічних, техніко-технологічних та інших сферах є основою наукового розвитку.

---

<sup>7</sup> Колодійчук В. А. Ефективність логістики зерна та продуктів його переробки : монографія. Львів : Український бестселер, 2015. 574 с.

Отож, в економічній літературі зустрічаються наступні визначення, що система – це сукупність елементів, які перебувають у відповідних відносинах і зв'язках між собою й утворюють певну цілісність, що забезпечує емерджентні властивості системи<sup>8</sup>. Система – це сукупність функціонально впорядкованих підсистем і елементів, що перебувають у відносинах та зв'язках один з одним, утворюють певну закономірну цілісність, єдність і визначають її призначення й спрямованість на досягнення заданої мети<sup>9</sup>. Систему також визначають як «...предмет, явище чи процес, що складається з якісно визначеної сукупності елементів, які знаходяться у взаємних зв'язках та відносинах, утворюють єдине ціле та спроможні у взаємодії із зовнішніми умовами свого існування змінювати свою структуру»<sup>10</sup>.

Отже, з нашої точки зору, система – це сукупність елементів, що перебувають у структурно-організаційній єдності і, характеризуючись емерджентними властивостями, пов'язані між собою функціональними, інформаційними, фінансовими та іншими зв'язками<sup>11</sup>. Під елементами системи розуміємо її складові компоненти, які не підлягають подальшому поділу, а їх внутрішня структура є несуттєвою і не впливає на результати вирішення окреслених завдань. Конкретний розгляд систем у розрізі предмета нашого дослідження, виявив такі визначення логістичної системи, зокрема, як «...цільової інтеграції логістичних елементів у межах певної економічної системи з метою оптимізації процесів трансформації матеріального потоку»<sup>9</sup>. Або як «...організаційно-управлінський механізм координації, який дає змогу досягти ефекту завдяки чіткій злагодженості у діях спеціалістів різноманітних служб, які беруть участь в управлінні матеріальним потоком»<sup>12</sup>. Науковець В.Є. Крикавський вказує, що логістична система – це «...спеціально організована інтеграція логістичних елементів (ланок) у межах певної економічної системи для оптимізації процесів трансформації матеріального потоку»<sup>8</sup>. В економічній літературі зустрічаються також визначення, що логістична система – це «...адаптивна система зі зворотнім зв'язком, яка виконує ті чи інші логістичні функції (операції), складається з кількох підсистем і має

---

<sup>8</sup> Крикавський С. В., Чернописька Н. В. Логістичні системи : навч. посіб. Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2009. 264 с.

<sup>9</sup> Кислий В. М., Біловодська О. А., Олєфіренко О. М., Смоляник О. М. Логістика: Теорія та практика : навч. посіб. К. : Центр учбової літератури, 2010. 360 с.

<sup>10</sup> Корбутяк В. І. Методологія системного підходу та наукових досліджень : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с.

<sup>11</sup> Колодійчук В.А. Принципи аналізу і проектування логістичних систем на зернопродуктовому ринку України. Науковий вісник Херсонського національного університету. 2014. Вип. 9, ч. 1. С.118–122. (Серія «Економічні науки»).

<sup>12</sup> Кальченко А. Г. Логістика : підручник [2-ге вид. без змін]. К. : КНЕУ, 2006. 284 с.

розвинуті зв'язки із зовнішнім середовищем»<sup>13</sup>. За результатами наших досліджень різних трактувань можна узагальнити, що логістична система виступає також як елемент (підсистема) економічної системи. Водночас логістична система як система охоплює свої елементи, що перебувають у структурно-функціональному взаємозв'язку як між собою так і з навколишнім соціальним та економічним середовищем, а її межі визначаються залежно від рівня дослідницьких завдань.

Отже, поняття «система» є базовим для розуміння сутності логістики. У межах теорії логістики як методології вивчення процесу доведення продукції від виробника до споживача поняття системи набуває форми логістичної системи, яка на основі узагальнення існуючих підходів до її визначення обґрунтовується як сукупність елементів логістичного ланцюга, пов'язаних між собою функціональними, інформаційними, фінансовими зв'язками, і характеризується структурною та організаційною цілісністю.

Так, базовими елементами логістичної системи є логістичні об'єкти (транспорт, склади), суб'єкти логістичної діяльності (закупівельники, представники розподільчих мереж, організатори фінансового, інформаційного, сервісного обслуговування), логістичні потоки (матеріальні, інформаційні, фінансові, сервісні) (рис.1).



**Рис 1. Структурно-функціональні взаємозв'язки у логістичній системі**

<sup>13</sup> Тридід О. М., Азаренкова Г. М., Мішина С. В., Борисенко І. І. Логістика : навч. посіб. К. : Знання, 2008. 566 с.

Взаємодія цих елементів забезпечується через функціональні зв'язки, а саме: реалізацію функцій організації, безпосереднього здійснення та оптимізації логістичної діяльності.

Для того, щоб об'єкт можна було розглядати як систему, для нього повинна бути характерна:

1) цілісність і подільність на складові елементи для аналітичних цілей;

2) організаційна впорядкованість;

3) наявність сильніших взаємозв'язків між елементами системи (інтегративні якості), порівняно зі зв'язками окремих елементів цієї системи із зовнішнім середовищем.

До фундаментальних властивостей систем, які притаманні і логістичним системам<sup>14</sup>, відносимо наступні характеристики:

1) *складність* системи, що має прояв у стохастичних зв'язках із зовнішнім середовищем і є наслідком наявності великої кількості елементів системи і складного характеру їх взаємодії між собою;

2) *ієрархічність* – характеризує підпорядкованість у процесі логістичного управління елементів нижчого рівня системи елементам вищого рівня;

3) *цілісність* – характеристика системи, яка забезпечує реалізацію цільової функції системою загалом, а не окремими її елементами;

4) *структурованість* – це наявність статично окресленої організаційної структури, яка є найоптимальнішою з позицій менеджменту;

5) *функціональність* – характеризує цільовий характер динамічних якостей системи;

6) *рухливість* – забезпечує параметричні зміни функціонування логістичної системи під впливом факторів зовнішнього середовища;

7) *гомеостатичність* – характеризує рівновагу на основі процесу саморегулювання, який дає змогу всій системі підтримувати себе у стані динамічного балансу;

8) *унікальність, непередбачуваність і невизначеність поведінки* – об'єктивна емпірична характеристика систем;

9) *адаптивність* – характеризує здатність системи до пристосування до змін зовнішнього середовища через кількісні та якісні зміни своєї конфігурації і поведінки.

За результатами вивчення літературних джерел, до цього переліку властивостей можемо додати конгруентність<sup>9</sup>, а також синергізм і емерджентність<sup>8,9</sup>.

---

<sup>14</sup> Колодійчук В. А., Колодійчук І. А. Системний підхід в економічних дослідженнях. Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України. 2015. Вип. 3(113). С. 107–111.

Щодо конгруентності (від лат. *congruens, congruentis* – співрозмірний, відповідний, співпадаючий), тобто узгодженості елементів системи між собою, опосередковано прояв цієї властивості має місце через уже зазначену цілісність. Із позицій нашого дослідження конгруентність не несе такого змістовного навантаження, як синергізм та емерджентність.

Поняття «емерджентність», яке традиційно інтерпретують як неможливість зведення властивостей системи до суми властивостей її компонентів. Ця властивість була визначена на основі сформульованої С. Александером та К. Л. Морганом метафізичної концепції розвитку, відомої в науці під назвою емерджентної еволюції<sup>15</sup> як стрибкоподібного процесу, що спричинює появу вищих якостей.

Прояв емерджентності з позицій системного ефекту спричинює появу якостей, які не властиві елементам, що складають систему. Однак часто-густо в наукових працях<sup>9,16</sup> зустрічаємо часткове ототожнення понять синергізм та емерджентність. Зокрема Н.В. Геселева та Н.М. Заріцька зазначають, що: «...Ми вважаємо найбільш доцільним визначення емерджентності як результату виникнення між елементами системи так званих синергетичних зв'язків, які забезпечують збільшення загального ефекту до більших обсягів, ніж сума ефектів окремо взятих незалежних елементів системи...»<sup>17</sup>. Не заперечуючи цього взаємозв'язку, на нашу думку синергізм характеризує кількісні параметри зміни системи, а емерджентність – якісні. Зазначені властивості систем є результатом еволюції наукової думки у становленні фундаментальної теорії систем і формують науково-методологічну концепцію дослідження її елементів у галузевому розрізі.

## **2. Основні положення концепції логістики м'ясо-молочної продукції**

Для забезпечення успішності якісної трансформації логістичних систем у галузі тваринництва необхідно створити потужну теоретичну основу. Формулювання основних положень логістичної концепції, адаптація до умов об'єктів дослідження, визначення основних принципів прикладного аналізу та проектування логістичних систем – все це формує як емпіричний, так і теоретичний рівні методологічного забезпечення. Отримані теоретико-прикладні напрацювання полегшають інтерпретацію теорій та проведення аналізу економічних

---

<sup>15</sup> Кисельов М. Емерджентна еволюція. Філософський енциклопедичний словник / В. І. Шинкарук (гол. редкол.) та ін.; Інститут філософії імені Григорія Сковороди НАН України. Київ : Абрис, 2002. 742 с.

<sup>16</sup> Геселева Н. В., Заріцька Н. М. Емерджентні властивості системи. Бізнес Інформ. 2013. № 7. С. 93–97.

механізмів, відображаючи необхідність вибору між сукупностями фундаментальних принципів, на основі яких можна розвинути пояснювальні теорії.

Отже, щоб окреслити теоретичні передумови, необхідно з'ясувати основні положення логістичної концепції, а потім сформулювати основні принципи формування ефективної логістичної системи у галузевому контексті.

З огляду на унікальність кожної виробничо-збутової системи та її адаптивність до зовнішніх умов функціонування, формуються індивідуальні логістичні ланцюги, які спроможні реалізувати цільову функцію системи загалом. Однак світова наука та корпоративна практика напрацювали потужний базис щодо реалізації логістичних функцій, який у науковій літературі узагальнений та представлений основними положеннями концепції логістики<sup>17</sup>. Розглянемо ці засадничі положення з акцентом на галузь тваринництва.

*Перше положення концепції логістики* базується на реалізації принципу системного підходу, що, безумовно, є фундаментальним у проектуванні, дослідженні та вдосконаленні виробничо-збутових систем. Розглядаючи галузь тваринництва як сукупність елементів системи виробництва, переробки та реалізації м'ясо-молочної продукції, де ці елементи пов'язані між собою функціональними, інформаційними, фінансовими та іншими зв'язками, ми повинні проектувати логістичний ланцюг у взаємозв'язку та взаємозалежності усіх структурних елементів, які забезпечують переміщення та видозміну матеріального потоку від первинного джерела сировини до споживачів готової продукції. Оскільки потужність логістичної системи визначається потужністю її найслабшої ланки, актуального значення набуває техніко-технологічна гармонізація усіх елементів логістичного ланцюга. В іншому випадку обмеження потужності на етапах постачання, переробки чи розподілу м'ясо-молочної продукції внаслідок дефіциту технічних засобів, організаційних збоїв чи адміністративних бар'єрів тощо, спричинить зниження потенціалу логістичної системи до параметрів слабкої ланки і тоді закономірним є процес зростання логістичних витрат та потенційних втрат. Якщо, наприклад, обсяги постачання молока на підприємство перевищують можливості його молокопереробних потужностей (визначаються кількісними та якісними параметрами наявного технологічного обладнання для переробки молока), закономірно, що частина непереробленого молока втратить кондиційні якості для переробки.

---

<sup>17</sup> Пономарьова Ю. В. Логістика : навч. посіб. [2-ге вид.]. К. : Центр навчальної літератури, 2005. 328 с.

Для уникнення цієї загрози слід виважено формувати систему інфраструктурного забезпечення галузі тваринництва на основі оптимальної конфігурації потужності всіх складових логістичного ланцюга закупівель, транспортування, зберігання, переробки та розподілу продукції тваринництва, керуючись при цьому критеріями ефективності.

*Друге положення концепції логістики* акцентує увагу на необхідності врахування потреб ринку під час організації переміщення матеріального потоку. Орієнтиром для визначення напрямку та потужності матеріального потоку є очікувані параметри платоспроможного попиту. При цьому слід враховувати нееластичність попиту на переважну більшість м'ясо-молочної продукції з боку споживачів, що підвищує прогнозованість параметрів споживання продукції, яка відноситься до базових фізіологічних потреб людини у продуктах харчування. Відповідно обсяги споживання продукції тваринництва значною мірою корелюються із кількістю населення на потенційному ринку збуту підприємства та їхніми доходами і з огляду на норми споживання базових продуктів харчування не піддається значній інтенсифікації. Для визначення ємкості локального ринку щодо реалізації продукції, підприємство повинно провести маркетингові дослідження та врахувати не лише кількісні та якісні параметри споживання, але і наявність конкурентів та їх виробничо-збутовий потенціал. Крім того необхідно здійснювати відповідні коригування потенційних обсягів попиту, оскільки існує сезонність споживання м'ясної продукції, що пов'язано із релігійними обмеженнями у певні періоди року, або відмови від споживання окремих видів м'яса групами споживачів через їх релігійні переконання.

Наступне, *третє, положення концепції логістики* визначає пріоритетність розподілу товарів над їх виробництвом. Це твердження актуалізує ринковий підхід до організації виробничо-збутової діяльності підприємства, а саме: виробляти потрібно не те, що може виробити підприємство виходячи із його актуального організаційно-ресурсного потенціалу, а те, що безпосередньо куплять споживачі. Щодо ринку продукції тваринництва зазначене положення концепції логістики частково нівелюється з огляду на переважаючу нееластичність попиту на молочну та м'ясну продукцію, що вже було нами обґрунтовано у попередньому положенні концепції логістики.

Сучасний техніко-технологічний рівень виробництва та переробки продукції тваринництва, з високим рівнем автоматизації та комп'ютеризації технологічних операцій у багатьох галузевих підприємствах, нівелює втручання людини у технологічні процеси та її

вплив на удосконалення виробничих операцій. Натомість резерви підвищення ефективності виробничо-збутової діяльності знаходяться у площині організації виробництва і збуту та фокусують увагу на удосконаленні логістичних ланцюгів. Оптимальна траєкторія переміщення матеріального потоку не лише зменшує витрати на транспортування, зберігання та вантажопереробку, але і задовольняє часові та температурні регламенти для операцій із м'ясом і молоком, що спричинено фізико-хімічними властивостями цієї сировини.

Так звана «фреш-логістика» забезпечує комплексне переміщення продукції логістичними ланцюгами (транспортування, складування, вантажопереробку) із дотриманням постійного температурного режиму в межах від +2 °C до +6 °C та від 0 °C до +2 °C («ультрафреш»). Наприклад, згідно регламентів температурний режим транспортування і зберігання ковбасних виробів та молочних продуктів повинен бути від +2 °C до +6 °C, свіжого вакуумованого м'яса – від 0 °C до +2 °C, а послуга перевезення у режимі до –18 °C («Frozen») застосовується для глибоко заморожених продуктів харчування – зокрема і м'яса.

*Четверте положення концепції логістики* визначає необхідність встановлення оптимального рівня обслуговування клієнтів, оскільки із підвищенням рівня обслуговування пропорційно зростають витрати. Управління матеріальними потоками у галузі тваринництва передбачає виробництво і доставку сировини на переробні підприємства та подальший розподіл готової продукції через посередників, або напряму у торгівельні мережі. Дія цього положення обмежується розподілом функцій транспортування, страхування та системи взаєморозрахунків, що може бути використано у вигляді преференцій між учасниками логістичного ланцюга. Оскільки мова не йде про складні технічні системи, які вимагають відповідного налаштування та обслуговування, тому рівень обслуговування кінцевих споживачів м'ясо-молочної продукції обмежується маркетинговою політикою торговельного підприємства. У логістичній системі в галузі тваринництва, положення концепції щодо рівня обслуговування споживачів є прийнятним лише на етапі забезпечення виробництва, переробки, зберігання і транспортування сировини технологічним обладнанням. Надаючи послуги щодо монтажу обладнання та пуско-налагоджуваних робіт, навчання персоналу, подовжених гарантійних термінів експлуатації та гнучкої цінової політики щодо ремонту – все це приваблюватиме покупців обладнання для ферм, переробних цехів, холодильного обладнання тощо, та вимагатиме додаткових витрат від продавців. Прийняття обгрунтованого компромісного рішення за рівнем обслуговування забезпечує допустимість витрат і привабливість



продукції для клієнта. Реалізація цього положення, на наш погляд, залежить від наявності ефективної логістичної інфраструктури у галузі виробництва, переробки і розподілу продукції тваринництва.

*П'яте положення концепції логістики* визначає, що аналіз логістичного ланцюга потрібно починати з кінця процесу. Будь-яка система потребує моніторингу, щоб з'ясувати відповідність її фактичного стану запроєктованому. Логістичний цикл передбачає певну дискретність руху матеріального потоку по логістичному ланцюгу від початку його виникнення (первинного джерела сировини) до кінцевого споживача готової продукції. Моніторинг наявності і структури продукції у торгівельній мережі свідчить про ефективність відповідної логістичної системи. Якщо, наприклад, підприємство реалізує молочну продукцію через торгівельну мережу, то аналіз логістичної системи потрібно починати із оцінки представлення продукції підприємства у конкретному торгівельному підприємстві. До уваги слід брати наявний асортимент на прилавку, наявність запасів на складі магазину та їх оборотність з огляду на дискретність потоків. Тобто, наступне постачання продукції підприємства у систему торгівлі повинно бути здійснено на фоні вичерпання запасів попередніх постачань. Якщо під час чергових постачань залишків продукції на складі торгівельного підприємства є достатньо, або запаси вичерпались раніше – це свідчить або про надлишки продукції, яка через певний період буде утилізована з огляду на терміни придатності молочної продукції, або її дефіцит. У другому випадку мають місце втрачені можливості виробника, який не задовольнив потенційний попит споживачів та сприяв тому, щоб вони купляли товари конкурентів. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків дозволяє виявити причини цих диспропорцій починаючи від прилавка магазину і закінчуючи якістю молока на фермі. Якщо товар є у надлишку, це означає що його або привезли більше, ніж споживається у даній локації, або він не відповідає ціновим, смаковим чи іншим потребам споживачів. Далі аналізуємо проміжну ланку між виробником і торгівельним підприємством та робим висновки про ефективність розподілу товарів посередником. Оцінивши наступну ланку логістичного ланцюга у зворотному напрямку до руху матеріального потоку, робимо висновки щодо відповідності асортименту продукції, її якості, упаковки, ціни тощо потенційним параметрам платоспроможного попиту. Можливо підприємство використовує сучасні технології, володіє прогресивним обладнанням та висококваліфікованими кадрами, а причиною відсутності належного попиту є низька якість продукції, що спричинено неякісною сировиною.

Замінивши постачальника молока легко можна вирішити ситуацію з низьким попитом на кінцеву продукцію.

*Шосте положення концепції логістики* визначає обов'язковість розгляду в процесі вдосконалення або проектування всього логістичного ланцюга, а не окремих його ланок. Це положення частково базується на першому із визначених положень щодо реалізації принципу системного підходу. Удосконалення логістичних систем має враховувати такі їх фундаментальні властивості, як складність, цілісність, ієрархічність, структурованість, унікальність, рухливість, непередбачуваність і невизначеність поведінки, адаптивність тощо.

Сукупність певних операцій становить функцію, яка є предметом оптимізації логістичної системи. Такі функції, як транспортування, складування, вантажопереробка, що є типовими для логістичних ланцюгів у галузі тваринництва, можна оптимізувати шляхом детального аналізу їх структури (операції), і *сьоме положення концепції логістики* наголошує на обов'язковості врахування вартості кожної елементарної операції в процесі виконання розрахунків, використання в техніко-економічних обґрунтуваннях рішень з організації вантажопотоку. На наш погляд, найбільш зручним способом реалізації цього положення концепції логістики є використання функціонально-вартісного аналізу (*ФВА*)<sup>18</sup>, який базується на системному дослідженні структури функцій об'єкта, порівнянні їх корисності й вартості реалізації. Метою аналізу є забезпечення необхідної корисності системи за мінімально можливих сукупних витрат.

Варіативність рішень щодо організації логістичних потоків спричинює вибір оптимального варіанту конфігурації системи серед існуючих альтернатив на підставі порівняння їх техніко-економічних показників. Це, *восьме положення концепції логістики*, актуалізує роль менеджменту підприємства щодо його здатності до прийняття критеріальних рішень. Основним критерієм є мінімізація витрат за досягнення цільової мети логістичної системи: забезпечити доставку товару до його покупця із дотриманням усіх кількісних, якісних і часових параметрів. З огляду на високонкурентний ринок м'ясо-молочної продукції, критеріальному прийняттю рішень щодо параметрів логістичної системи передують досконале вивчення потенційного споживача та логістичної інфраструктури відповідного ринку. Стимулювання менеджменту підприємства за правильно прийняті

---

<sup>18</sup> Колодійчук В. А. Функціонально-вартісний аналіз у системі управління логістичними витратами підприємств зернопродуктового підкомплексу АПК. Вісник Волинського інституту економіки та менеджменту. 2014. Т. 2. № 10. С. 327–335.

логістичні рішення є потенційним резервом удосконалення логістичних систем.

Для формування логістичного ланцюга, тобто для лінійного впорядкування всіх його елементів, необхідно реалізувати єдину консолідовану політику, що відповідає загальній стратегії підприємства. *Дев'яте положення концепції логістики* підкреслює, що всі рішення щодо планування та організації логістики потоків повинні відповідати загальній стратегії суб'єкта господарювання. Це положення концепції логістики актуалізує роль корпоративних відносин вертикально інтегрованих підприємств. Одержання синергетичного ефекту на основі консолідації зусиль усіх складових логістичної системи, найкраще реалізується в організаційних структурах холдингового типу, де є чітка кінцева стратегічна мета, якій підпорядкована оперативна діяльність усіх учасників корпорації. Іншим варіантом консолідації зусиль у галузі тваринництва є кооперація, яка об'єднує організаційні та матеріальні ресурси сільськогосподарських виробників щодо функцій переробки, реалізації чи постачання і є компромісним варіантом досягнення стратегічних цілей.

З огляду на високу конкуренцію на ринку м'ясо-молочної продукції важливого значення набуває оперативність прийняття управлінських рішень, які повинні базуватися на достовірній і повній інформації. *Десяте положення концепції логістики* наголошує на використанні якнайповнішої інформації у процесі прийняття управлінських рішень, чому передують кропітка робота відповідних фахівців підприємства щодо збору, обробки та систематизації інформації з різних альтернативних джерел з метою подальшої об'єктивної оцінки. Інформаційний потік, який поряд із фінансовим та сервісним, виступає забезпечувальним стосовно матеріального потоку і його значення для ефективності управлінських рішень важко переоцінити. Від повноти й достовірності інформації залежить конфігурація логістичної системи і для реалізації цього положення концепції логістики слід відповідально поставитися до вибору джерел отримання інформації та формування логістичної інформаційної системи з відповідними їй підсистемами. Отримання первинної інформації на основі «польових» досліджень є надто дорогим і не завжди виправданим процесом. Вторинна інформація (кабінетні дослідження) не завжди відображає об'єктивну картину досліджуваного явища. Тому пошук компромісів щодо інструментів і джерел отримання інформації базується на такому стандартному підході: мінімум витрат – максимум корисності інформації. Для досягнення цієї мети іноді рекомендується використовувати послуги консалтингових компаній та

інших професійних організацій у процесі дослідження галузевих локальних ринків.

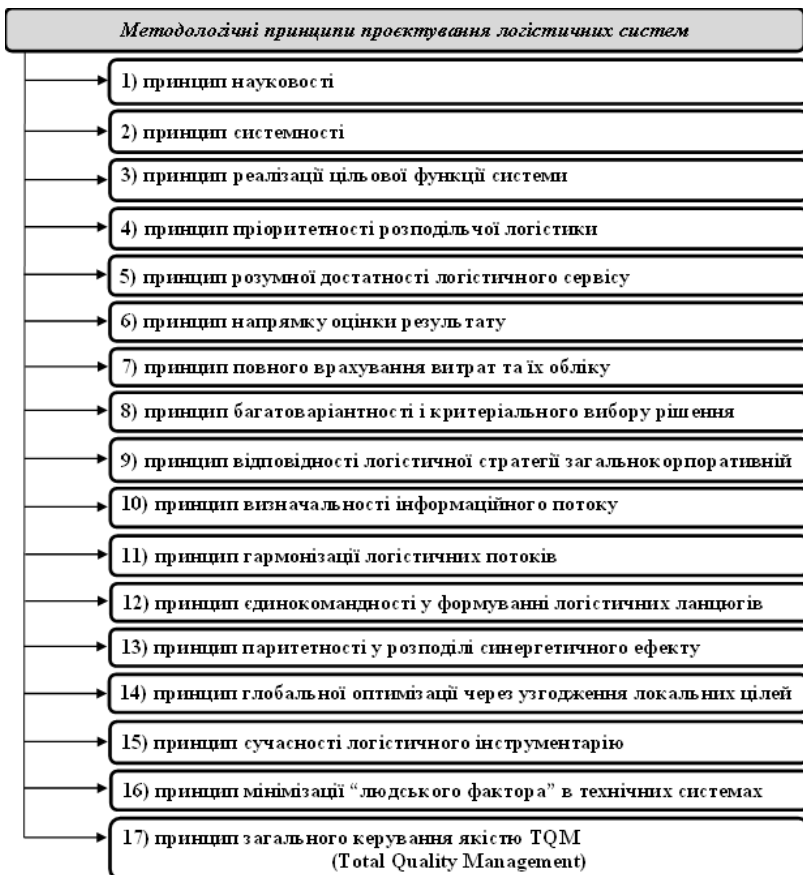
Формування синергетичного ефекту залежить від узгоджених дій всіх учасників логістичного ланцюга. Лінійно впорядкована множина всіх посередників у процесі переміщення матеріального потоку не повинна допускати внутрішніх конфліктів, які, безумовно, зменшують потенціал системи і збільшують непродуктивні витрати на усунення існуючих протиріч. Превентивні рішення щодо підбору потенційно узгоджених елементів логістичної системи слід приймати її ініціатором на етапі створення логістичного каналу, надаючи перевагу у співпраці з тими посередниками, які найбільш органічно вписуються у конфігурацію логістичної системи, що формується. Налагодження партнерських і ділових відносин між учасниками логістичного ланцюга – це *одинадцяте положення концепції логістики*, яке суттєво визначатиме ступінь консолідованості учасників логістичної системи та тривалості їхньої співпраці.

І останнє – *дванадцяте положення концепції логістики* – наголошує на обов'язковості ведення обліку логістичних витрат протягом усього логістичного ланцюга. Аналітичною основою оптимізації системи є облікові дані по кожній елементарній операції всіх логістичних функцій. Дослідження операцій дозволяє виявити їх дублювання, невинуваті витрати на їх реалізацію, або їх зайвість. Завдання менеджменту підприємства аналізувати ці дані та приймати критеріальні управлінські рішення, оскільки це є оптимізаційним резервом підвищення ефективності логістичної системи загалом.

Таким чином, основні положення концепції логістики, розглянуті через призму логістичних потоків галузі тваринництва, є визначальним задумом реалізації логістичних функцій, що відображають нашу систему поглядів на ведення логістичної діяльності і дали підставу окреслити галузеві принципи аналізу та проектування логістичних систем.

### **3. Принципи проектування та менеджменту логістичних систем у галузі тваринництва**

Розглянуті основні положення концепції логістики у галузі тваринництва дають нам основу для окреслення принципів аналізу і проектування логістичних систем, які ми представимо на рисунку 2 і при цьому акцентуємо увагу на їх змістовному взаємозв'язку з охарактеризованими вище концепціями.



**Рис. 2. Принципи проектування логістичних систем у галузі тваринництва**

Зупинимося докладніше на тих принципах, які не відображені в основних положеннях концепції логістики, але які, на нашу думку, є важливими з точки зору формулювання загальних положень, які повинні задовольняти науковим гіпотезам, постулатам або теоріям. І першим із них є принцип науковості логістичного менеджменту (див. рис. 2).

Ігнорування фундаментальних наукових теорій у багатьох сферах соціально-економічного та політичного життя є неприпустимою помилкою, яка матиме негативні системні наслідки. Барометром цього ігнорування є залишковий принцип фінансування науки в розподілі державного бюджету, відсутність мотивацій фінансування наукових

досліджень багатьма суб'єктами господарювання, незахищеність інтелектуальної власності в Україні тощо. Це, безумовно, наслідок зміни суспільно-економічної формації в державі, що спричинило порушення світоглядних принципів, і критерієм успішності став не інтелектуальний рівень людини, а грошовий еквівалент, яким вона володіє. Україна обрала шлях євроінтеграції, але якщо кожен українець не усвідомить базових принципів демократичного суспільства, у якому науці відводиться чільне місце, економічний успіх не вирішить структурних проблем. Шлях України до Європи лежить не через інтеграцію територій, а через інтеграцію цінностей, здатних змінити світогляд людей. Коли наука в нашій країні розглядатиметься як продуктивна сила суспільства, вона стане фундаментальною основою якісних змін у всіх сферах буття людей.

Під час дослідження логістичних систем у галузі тваринництва ми беремо до уваги причинно-наслідкові зв'язки між об'єктивним станом логістики м'ясо-молочної продукції та фундаментальними теоріями систем, які дають пояснення структурно-функціональним галузевим взаємозв'язкам та дозволяють визначити причини успіхів та невдач з подальшим коригуванням параметрів логістичної системи. І часто-густо причиною цих невдач є розбалансування логістичних потоків (матеріальних, інформаційних, фінансових і сервісних), що актуалізує визначений нами (див. рис. 2) принцип гармонізації потоків. Основою логістичної системи є матеріальний потік, що рухається у напрямі від первинного джерела сировини до кінцевого споживача готової продукції через функціональні сфери логістики (закупівля, переробка, розподіл готової продукції), а інформаційний, фінансовий та сервісний потоки забезпечують умови руху матеріального. Будь-який дисбаланс у взаємозв'язку цих потоків через недостовірність або відсутність інформації, збоїв у системі взаєморозрахунків і т.д., спричиняють зниження синергетичного ефекту та витрату внутрішнього потенціалу на усунення набутих протиріч. При цьому протиріччя можуть закладатися ще на стадії формування логістичного каналу, якщо було порушено визначений нами принцип (див. рис. 1) формування єдиної команди. Система розвиватися не може, якщо її елементи не сумісні і конфліктують між собою, тому формування єдиної команди вмотивованих і готових до спільної роботи фахівців, є умовою функціонування ефективних логістичних ланцюгів.

Гармонізації відносин між учасниками логістичного ланцюга значною мірою сприяє справедливий розподіл прибутку, отриманий за результатами логістичного циклу. Диспаритет в оплаті результатів вкладених зусиль може спричинити конфлікти між різними учасниками

процесу постачання, переробки і розподілу продукції, особливо у сфері агропромислового виробництва загалом, і в галузі тваринництва – зокрема. Конфлікти у питання еквівалентності обміну результатами праці між постачальниками матеріальних ресурсів для сільськогосподарського виробництва, виробниками сільськогосподарської сировини та її переробниками є традиційними для сфери АПК, і в найбільш не вигідному становищі перебувають саме сільськогосподарські виробники. Під впливом ринкової кон'юнктури вони вимушені з мінімальним прибутком реалізовувати вироблену сировинну продукцію, у порівнянні із своїми витратами на закупівлю ресурсів та доходами переробних і торговельних підприємств. Це створює нерівні умови для розширеного відтворення виробництва кожного інтегрованого у логістичну систему учасника, що актуалізує дотримання запропонованого нами (див. рис. 2) принципу паритетності цін й еквівалентності обміну у процесі розподілу синергетичного ефекту.

Принцип глобальної оптимізації може бути задоволений методом послідовного наближення локальних цілей до виконання глобальних завдань оптимізації структури та функціонального забезпечення ефективності логістичної системи. Оптимізаційні задачі, як і весь процес ефективного логістичного управління, повинні базуватися на використанні сучасних логістичних інформаційних систем (див. рис. 2), що складаються з функціональної та забезпечувальної підсистем. Функціональна складова охоплює перелік виконуваних завдань, згрупованих за спільною метою, а забезпечувальна підсистема включає технічне, інформаційне забезпечення та математичний інструментарій для розв'язання функціональних задач. Використання сучасних технічних засобів, що забезпечують обробку та передачу інформаційних потоків, а також програмних продуктів цих технічних систем є одним із основоположних принципів методології аналізу та проектування логістичних ланцюгів.

Ефективність логістичної системи значною мірою залежить від узгодженості функціональних зв'язків між її елементами. Участь людини у функціонуванні технічної системи підвищує ризик системної взаємодії, тому одним із принципів проектування логістичної системи є мінімізація «людського фактора» в управлінні її технологічними та технічними складовими. Участь людини має бути зведена до ролі оператора логістичних операцій, що підтримується ретельним плануванням і програмним забезпеченням. Кластеризація агропромислової логістики є перспективним вирішенням цієї проблеми.

Загальне управління якістю (*Total Quality Management*)<sup>7</sup> – це концепція організації контролю та методів впливу на показники якості

на всіх етапах життєвого циклу продукції, спрямована на попередження причин виробничого браку, перманентне підвищення якості та максимальне задоволення споживчого попиту клієнтів.

Міжнародна організація зі стандартизації (*ISO*) узагальнила весь позитивний досвід роботи, накопичений у сфері підвищення якості продукції, і на його основі розробила стандарти серії 9000 і 10000, які складають основу принципів *TQM*. Запровадження єдиної системи стандартів, у тому числі щодо забезпечення якості продукції, може уніфікувати вимоги до товарного виробництва, що позитивно впливає на міжнародний поділ праці в умовах глобалізації міжнародної економіки. Для національних м'ясо-переробних підприємств дотримання загальних принципів управління якістю (див. рис. 2) створює організаційні та технічні передумови для інтеграції у світовий ринок харчових продуктів.

Таким чином, у характеристиці галузевих систем принципи відображають ті суттєві компоненти, що відповідають за правильне, на нашу думку, функціонування системи, без яких вона не виконувала б свого призначення. Логістичний менеджмент у галузі тваринництва повинен спрямовуватися на ефективну реалізацію цільової функції, під якою розуміємо доставку споживачу необхідної кількості м'ясо-молочної продукції відповідної якості у визначене місце та у встановлений час із заданими (переважно мінімальними) логістичними витратами з дотриманням всіх температурних та санітарних норм.

## **ВИСНОВКИ**

Кожній системі притаманна низка властивостей, найсуттєвішими серед яких є складність, ієрархічність, цілісність, структурованість, функціональність, рухливість, гомеостатичність, адаптивність, унікальність, непередбачуваність і невизначеність поведінки, а також синергізм та емерджентність, що зумовлюють її внутрішню будову, принципи функціонування та зв'язки із зовнішнім середовищем. При цьому уточнюємо, що синергізм характеризує кількісні параметри зміни системи, а емерджентність – якісні.

Зазначені властивості повною мірою притаманні й логістичній системі та виявляються в її специфічних організаційно-економічних, структурно-функціональних та інституціональних характеристиках. Так, складність системи є наслідком її стохастичних зв'язків зі зовнішнім середовищем і складного характеру внутрішньої взаємодії її елементів. Ієрархічність логістичної системи виявляється в підпорядкованості елементів нижчого рівня системи елементам вищого рівня у процесі логістичного управління, цілісність – у забезпеченості повного циклу руху логістичних потоків, а функціональність визначає



цільовий характер динамічних якостей системи. Під впливом зовнішніх чинників змінюються параметри функціонування логістичної системи, що характеризує її рухливість, а гомеостатичність визначає рівновагу системи на основі механізму саморегулювання, який дає змогу всій системі підтримувати себе в стані динамічного балансу. Пристосовування до динамічних змін зовнішнього середовища через кількісні та якісні зміни своєї конфігурації і поведінки забезпечується такою властивістю логістичної системи, як її адаптивність.

Взявши за основу загальновідомі положення концепції логістики, ми їх адаптували до конкретної галузі, відобразивши свою систему поглядів на ведення логістичної діяльності. За глибшого розгляду концепції помітнішим стає її взаємозв'язок із методологією дослідження, тобто системою принципів дослідження, яка базується на діалектичному методі та системному підході. У характеристиці галузевих систем принципи відображають найбільш суттєві характеристики функціонування системи, що забезпечують реалізацію її цільового призначення.

## **АНОТАЦІЯ**

Проведено ретроспективний аналіз еволюції теорії систем та обґрунтовано використання системного підходу у дослідженні сучасних економічних процесів. На основі дослідження різних трактувань категорії «система», представлено авторське її визначення, яке окреслює умови системного сприйняття досліджуваних об'єктів та визначає властивості систем, які забезпечують прогнозованість їх поведінки у процесі прийняття управлінських рішень. Уточнено зміст та дано характеристику логістичної системи у розрізі її складності, ієрархічності, цілісності, структурованості, функціональності, рухливості, гомеостатичності, адаптивності, унікальності, непередбачуваності і невизначеності поведінки. Акцентовано увагу на синергізмі та емерджентності, а також особливостях використання цих властивостей щодо оцінки зміни кількісних та якісних параметрів системи. На основі фундаментальних положень концепції логістики розроблено пропозиції щодо менеджменту логістичної діяльності із врахуванням особливостей м'ясо-молочного ринку та тенденцій його розвитку. Для подальших якісних змін у сфері виробництва і переробки у галузі тваринництва сформульовані основні принципи проектування та менеджменту логістичних систем, що формує відповідний теоретичний фундамент розвитку галузі, яка досліджується.

## Література

1. Bertalanffy L. von. General System Theory – A Critical Review. *General Systems*. 1962. Vol. VII. P. 1–20.
2. Egler F. E. Bertalanffian organismicm. *Ecology*. 1953. Vol. 34. P. 443–446.
3. John P. Van Gigch. Applied General Systems Theory. University of Michigan: Harper & Row, 1978. B. 2. 602 p.
4. Rapoport A. Thoughts on Organization Theory and a Review of Two Conferences. *General Systems*. 1959. Vol. IV. P. 87–93.
5. Hall A. D. A Methodology for Systems Engineering. Princeton, NJ : Van Nostrand, 1962. P. 139–145.
6. Горбань О. М., Бахрушин В. Є. Основи теорії систем і системного аналізу. Запоріжжя : ГУ «ЗІ– ДМУ», 2004. 204 с.
7. Колодійчук В. А. Ефективність логістики зерна та продуктів його переробки : монографія. Львів : Український бестселер, 2015. 574 с.
8. Крикавський Є. В., Чернописька Н. В. Логістичні системи : навч. посіб. Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2009. 264 с.
9. Кислий В. М., Біловодська О. А., Олефіренко О. М., Смоляник О. М. Логістика: Теорія та практика : навч. посіб. К. : Центр учбової літератури, 2010. 360 с.
10. Корбутяк В. І. Методологія системного підходу та наукових досліджень : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с.
11. Колодійчук В.А. Принципи аналізу і проектування логістичних систем на зернопродуктовому ринку України. *Науковий вісник Херсонського національного університету*. 2014. Вип. 9, ч. 1. С.118–122. (Серія «Економічні науки»).
12. Кальченко А. Г. Логістика : підручник [2-ге вид. без змін]. К. : КНЕУ, 2006. 284 с.
13. Тридід О. М., Азаренкова Г. М., Мішина С. В., Борисенко І. І. Логістика : навч. посіб. К. : Знання, 2008. 566 с.
14. Колодійчук В. А., Колодійчук І. А. Системний підхід в економічних дослідженнях. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2015. Вип. 3(113). С. 107–111.
15. Кисельов М. Емерджентна еволюція. *Філософський енциклопедичний словник / В. І. Шинкарук (гол. редкол.) та ін.; Інститут філософії імені Григорія Сковороди НАН України*. Київ : Абрис, 2002. 742 с.
16. Геселева Н. В., Заріцька Н. М. Емерджентні властивості системи. *Бізнес Інформ*. 2013. № 7. С. 93–97.
17. Пономарьова Ю. В. Логістика : навч. посіб. [2-ге вид.]. К. : Центр навчальної літератури, 2005. 328 с.

18. Колодійчук В. А. Функціонально-вартісний аналіз у системі управління логістичними витратами підприємств зернопродуктового підкомплексу АПК. *Вісник Волинського інституту економіки та менеджменту*. 2014. Т. 2. № 10. С. 327–335.

**Information about the authors:**

**Kolodiichuk Volodymyr Anatoliiovych,**

Doctor of Economic Sciences,  
Professor at the Department of Management  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Hrymak Oleh Yaroslavovych,**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,  
Dean of the Faculty of Economics and Management  
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv  
50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

**Kolodiichuk Iryna Anatoliivna,**

Doctor of Economic Sciences,  
Senior Researcher at the Regional Environmental Policy and Environmental  
Management Department,  
SI «Institute of Regional Research named after M. I. Dolishniy of the  
National Academy of Sciences of Ukraine»  
4, Kozelnitska str., Lviv, 79026, Ukraine

*The project was implemented with the support of*



**The Center for Ukrainian and European Scientific Cooperation** is a non-governmental organization, which was established in 2010 with a view to ensuring the development of international science and education in Ukraine by organizing different scientific events for Ukrainian academic community.

**The priority guidelines of the Centre for Ukrainian and European Scientific Cooperation**

**1. International scientific events in the EU**

Assistance to Ukrainian scientists in participating in international scientific events that take place within the territory of the EU countries, in particular, participation in academic conferences and internships, elaboration of collective monographs.

**2. Scientific analytical research**

Implementation of scientific analytical research aimed at studying best practices of higher education establishments, research institutions, and subjects of public administration in the sphere of education and science of the EU countries towards the organization of educational process and scientific activities, as well as the state certification of academic staff.

**3. International institutions study visits**

The organisation of institutional visits for domestic students, postgraduates, young lecturers and scientists to international and European institutes, government authorities of the European Union countries.

**4. International scientific events in Ukraine with the involvement of EU speakers**

The organisation of academic conferences, trainings, workshops, and round tables in picturesque Ukrainian cities for domestic scholars with the involvement of leading scholars, coaches, government leaders of domestic and neighbouring EU countries as main speakers.

**Contacts:**

Head Office of the Center for Ukrainian and European Scientific Cooperation:  
88000, Uzhhorod, 25, Mytraka str.  
+38 (099) 733 42 54  
info@cuesc.org.ua

**[www.cuesc.org.ua](http://www.cuesc.org.ua)**

Izdevniecība «Baltija Publishing»  
Valdeķu iela 62 – 156, Rīga, LV-1058  
E-mail: office@baltijapublishing.lv

---

Iespiests tipogrāfijā SIA «Izdevniecība «Baltija Publishing»  
Paraksts iespiešanai: 2023. gada 31. maijs  
Tirāža 150 eks.