

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 4. С. 18-29.

Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 4. P. 18-29.

## БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 639.3.043:577.17

doi:10.33284/2658-3135-106-4-18

### **Концентрация химических элементов в мышечной ткани карпа при включении в рацион биологически активных веществ**

**Марина Сергеевна Мингазова<sup>1,2</sup>, Елена Петровна Мирошникова<sup>3</sup>, Азамат Ерсайнович Аринжанов<sup>4</sup>, Юлия Владимировна Килякова<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4,5</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

<sup>2</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

<sup>1,2</sup>ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

<sup>3</sup>elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

<sup>4</sup>arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

<sup>5</sup>fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

**Аннотация.** Современные тенденции к накоплению тяжёлых металлов в органах гидробионтов способствуют возрастанию интереса в области изучения концентрации химических элементов в мышцах рыб и влияния биологически активных веществ на их содержание. Целью данной работы являлось изучение концентрации химических элементов в мышечной ткани карпа (*Cyprinus carpio*) при включении в рацион рыб биологически активных веществ. На модели карпа ( $m=39\pm 1$  г) нами были изучены в составе рациона биологически активные вещества – ванилин (I опытная) в дозировке 250 мг/кг корма, ферментные препараты Амилосубтилин и Глюкаваморин (II опытная) в дозировке по 0,5 г/кг корма и ультрадисперсные частицы SiO<sub>2</sub> (III опытная) в дозировке 200 мг/кг корма на концентрацию химических элементов в мышечной ткани рыб. В результате исследования установлено, что препараты оказывают ростостимулирующий эффект, повышая массу рыб в конце эксперимента до 7,6 % ( $P\leq 0,05$ ). Зафиксировано снижение макроэлементов в I опытной группе – калия и фосфора на 30,7 % ( $P\leq 0,05$ ) и 19,3 % ( $P\leq 0,05$ ), во II опытной – кальция на 19,9 % ( $P\leq 0,05$ ). Отмечена общая тенденция к снижению эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов во всех опытных группах от 25,6 % ( $P\leq 0,05$ ) до 75,6 % ( $P\leq 0,001$ ). Кроме того, зафиксировано снижение ряда токсических элементов во всех опытных группах от 29,6 % ( $P\leq 0,05$ ) до 86,7 % ( $P\leq 0,001$ ), за исключением кадмия в I опытной и олова в III опытной группах, которые превышали контрольные значения на 107,4 % ( $P\leq 0,01$ ) и 35,7 % ( $P\leq 0,05$ ) соответственно.

**Ключевые слова:** аквакультура, рыба, карп, кормление, микроэлементы

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-26-00281.

**Для цитирования.** Концентрация химических элементов в мышечной ткани карпа при включении в рацион биологически активных веществ / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 4. С. 18-29. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-18>

Original article

**Concentration of chemical elements in carp muscle tissue when biologically active substances are included in the diet**

**Marina S Mingazova<sup>1,2</sup>, Elena P Miroshnikova<sup>3</sup>, Azamat E Arinzhanov<sup>4</sup>, Yulia V Kilyakova<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4,5</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>2</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>1,2</sup>ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

<sup>3</sup>elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

<sup>4</sup>arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

<sup>5</sup>fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

**Abstract.** Current trends towards the accumulation of heavy metals in the organs of hydrobionts contribute to an increase in interest in the study of the concentration of chemical elements in the muscles of fish and the effect of biological active substances on their content. The purpose of this work was to study the concentration of chemical elements in the muscle tissue of carp (*Cyprinus carpio*) when biologically active substances are included in the diet of fish. Using the carp model ( $m=39\pm 1$  g), we studied biologically active substances in the diet – vanillin (I experimental) at a dosage of 250 mg/kg of feed, enzyme preparations Amylosubtilin and Glucavamorin (II experimental) at a dosage of 0.5 g/kg of feed and ultrafine particles SiO<sub>2</sub> (III experimental) at a dosage of 200 mg/kg of feed for the concentration of chemical elements in the muscle tissue of fish. As a result of the study, it was found that the preparations have a growth-stimulating effect, increasing the mass of fish at the end of the experiment by 7.6% ( $P\leq 0.05$ ). A decrease in macronutrients was recorded in the experimental group I – potassium and phosphorus levels by 30.7% ( $P\leq 0.05$ ) and 19.3% ( $P\leq 0.05$ ), in the experimental group II – calcium by 19.9% ( $P\leq 0.05$ ). There was a general tendency to decrease essential and conditionally essential trace elements in all experimental groups from 25.6% ( $P\leq 0.05$ ) to 75.6% ( $P\leq 0.001$ ). In addition, a decrease in a number of toxic elements was recorded in all experimental groups from 29.6% ( $P\leq 0.05$ ) to 86.7% ( $P\leq 0.001$ ), with the exception of cadmium in the I experimental group and tin in the III experimental group, which exceeded the control values by 107.4% ( $P\leq 0.01$ ) and 35.7% ( $P\leq 0.05$ ).

**Keywords:** aquaculture, fish, carp, feeding, trace elements

**Acknowledgments:** the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-26-00281.

**For citation:** Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Concentration of chemical elements in carp muscle tissue when biologically active substances are included in the diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):18-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-18>

**Введение.**

Последние годы активно рассматривают вопросы загрязнения окружающей среды и воздействия различных загрязнителей как на саму среду обитания, так и на последствия для живых организмов (Tiktak GP et al., 2020), в том числе для людей (Barone G et al., 2021). Микроэлементы играют огромную роль среди загрязнителей окружающей среды (López-Berenguer G et al., 2020). Понятие «микроэлементы» определяется как элемент, который имеет среднюю концентрацию менее 1 мг кг<sup>-1</sup> и присутствует в биологических веществах в малых количествах. Микроэлементы в составе тканей могут быть как эссенциальными (например, Cu, Zn, Se, Mn, Fe), так и токсичными (Al, Hg, Cd, Pb). Последние могут приводить к биоаккумуляции в организме и вызывать заболевания почек, печени, лёгких и других внутренних органов (Amoussou N et al., 2020; Ehnert-Russo SI and Gelsleichter J, 2020; Connolly M et al., 2023).

Кроме того, накопленные элементы влияют на рост, развитие и размножение гидробионтов (Mamdouh S et al., 2022; Ribeiro M et al., 2022). Биодоступность и усвоение макро- и микроэлементов зависит от множества факторов, среди которых выделяют концентрацию металлов, период воздействия, взаимодействие с другими металлами, возраст и размер животных, пищевое поведение и параметры окружающей среды (Мирошникова Е.П. и др., 2022; Мирошникова Е.П. и др., 2023; Delahaut V et al., 2020; Kim HJ et al., 2020; Shahjahan M et al., 2022). При исследовании концентрации химических элементов рыбы являются наиболее подходящими биоиндикаторами, так как они легко накапливают тяжёлые металлы в различных тканях, которые затем могут передаваться в организм человека (Shahjahan M et al., 2022; Mohamed AA et al., 2020).

Применение биологически активных веществ в составе рациона рыб может привести к селективным изменениям в содержании макро- и микроэлементов в мышечной ткани (Аринжанов А.Е., 2022; Зуева М.С. и др., 2023; Wu Zh et al., 2021). При выборе препаратов делают акцент на добавках, которые зарекомендовали себя с положительной стороны. Например, пробиотики (Chen X et al., 2021; Olmos J et al., 2020) или ферментные препараты (Приступа В.Н. и Рубашкин Р.В., 2020; Саломатин В.В. и др., 2021). В последние годы учёные обращают внимание на включение в рацион новых компонентов, например, связанных со способностью ингибировать кворум сенсинг и приводить к положительной реакции на организм животных (Liu X et al., 2021); или улучшать химическую концентрацию мышечной ткани за счёт включения в рацион микроэлементов (Amoussou N et al., 2020; Akter S et al., 2021).

Но, несмотря на положительные действия биологически активных веществ на организм рыб, важно оценивать влияние состава мышечной ткани рыб на концентрацию макро- и микроэлементов при использовании новых препаратов в рационе (Li H et al., 2022) для изучения действия препаратов на организм (Pinto FR et al., 2022). Кроме того, изменение химического состава тканей может сопровождаться улучшением качества среды обитания водных организмов и снижать накопление металлов в организме (Shahjahan M et al., 2022).

#### **Цель исследования.**

Исследовать концентрацию химических элементов в мышечной ткани карпа (*Cyprinus carpio*) при включении в рацион рыб биологически активных веществ.

#### **Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Карп (*Cyprinus carpio*) ( $m=39\pm 1$  г).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

**Схема эксперимента.** Исследования проведены в условиях аквариумного стенда кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры ОГУ. Контроль и опытные группы были сформированы методом пар-аналогов ( $n=25$ ).

В подготовительный период (7 суток) все рыбы потребляли основной рацион (ОР), в учётный (56 суток) контроль потреблял ОР, опытные группы перевели на рацион, непосредственно связанный с исследованиями. I опытная – ОР+ванилин в дозировке 250 мг/кг корма, II опытная – ОР+комплекс ферментных препаратов Амилоsubтилин и Глюкаваморин в дозировке по 0,5 г/кг корма каждого препарата, III опытная – ОР+ультрадисперсные частицы (УДЧ) SiO<sub>2</sub> в дозировке 200 мг/кг корма. Биологически активные вещества были нанесены на ОР путём напыления.

В качестве ОР использовали комбикорм КРК-110 (ОАО «Оренбургский комбикормовый завод», Россия, <http://orenkz.ru/krk-110.html>). Кормление осуществлялось ежедневно 4 раза в сутки в светлое время. Суточная норма кормления составила 5 % от массы тела рыб.

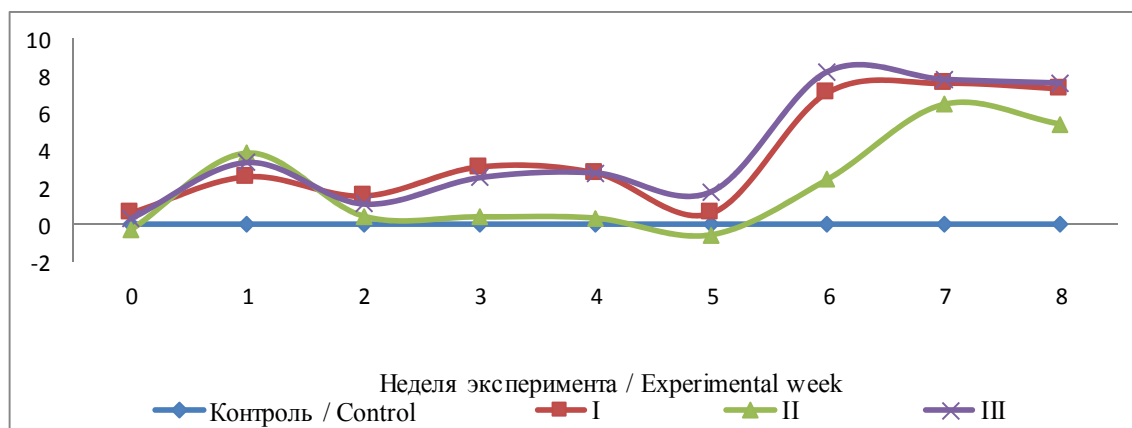
Гомогенат из мышечной ткани карпа был подготовлен в последний день исследования после взвешивания и взятия крови. Отбор мышц проводили при помощи стерильных инструментов с дальнейшим измельчением. Пробы были отобраны в вакуумные пакеты с фиксацией даты, времени, группы и места отбора. В лабораторию гомогенат был передан в замороженном виде. В образцах мышечной ткани была определена концентрация 25 макро- и микроэлементов (Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn).

**Оборудование и технические средства.** Анализ концентрации химических элементов в мышечной ткани карпа был выполнен в лаборатории ООО «Микронутриенты» (г. Москва, лицензия № Л041-01137-77/00370156 от 25.04.2013 г.) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой при использовании квадрупольного масс-спектрометра Nexion 300D («Perkin Elmer», США).

**Статистическая обработка.** Результаты были представлены в виде  $M \pm m$ , где  $M$  – среднее арифметическое значение,  $m$  – ошибка средней арифметической величины. Статистический анализ был выполнен с помощью программного обеспечения «Excel» («Microsoft», США) и «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Статистически значимым считалось значение с  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  и  $P \leq 0,001$ .

#### Результаты исследования.

При использовании в составе рациона биологически активных веществ было установлено закономерное повышение живой массы карпа (рис. 1) с фиксацией максимума на 6 неделе ( $P \leq 0,05$ ). В конце эксперимента масса рыб превышала контроль на 7,3 % ( $P \leq 0,05$ ), 5,4 % ( $P \leq 0,05$ ) и 7,6 % ( $P \leq 0,05$ ) в I, II и III опытных группах соответственно.



**Рис. 1 – Изменения живой массы карпа в опытных группах в сравнении с контролем, %**  
**Figure 1 – Changes in the live weight of carp in the experimental groups compared to control, %**

Включение биологически активных веществ в рацион карпа оказало селективное действие на концентрацию химических элементов в мышечной ткани рыб (табл. 1). Была выявлена тенденция к снижению концентрации макро- и микроэлементов в опытных группах в сравнении с контролем.

Установлено, что при использовании препаратов в кормлении карпа ряд макроэлементов незначительно отличался от контрольных значений. Изменения зафиксировали для I опытной группы, где отметили снижение калия и фосфора на 30,7 % ( $P \leq 0,05$ ) и 19,3 % ( $P \leq 0,05$ ), для II опытной – кальция на 19,9 % ( $P \leq 0,05$ ) в сравнении с контрольными значениями. В III группе достоверных различий по содержанию макроэлементов в тканях рыб не отметили.

Таблица 1. Концентрация химических элементов в мышечной ткани карпа, мкг/г  
Table 1. The concentration of chemical elements in the muscle tissue of carp, mcg/g

Элемент / <i>Elements</i>	Группа / <i>Group</i>			
	контроль / <i>Control</i>	I	II	III
<b>Макроэлементы / <i>Macroelements</i></b>				
K	4053,8±405	2810,1±281*	4140±404	3969,2±377
P	2229±223	1798,1±180*	2363,8±236	2216,6±222
Ca	426±40,0	360±33,1	340,9±34,8*	346,3±33,9
Mg	332,9±33,3	268,9±28,88	348,7±34,87	329,7±32,97
Na	505,4±45,1	484,4±48,4	544,9±54,5	515,4±51,5
<b>Эссенциальные и условно-эссенциальные элементы / <i>Essential and conditionally essential elements</i></b>				
Cr	0,75±0,065	0,34±0,034***	0,41±0,042**	0,43±0,043**
Li	0,0081±0,0008	0,0046±0,0006**	0,0021±0,0002***	0,0023±0,0002***
Si	2,61±0,26	1,43±0,14***	1,31±0,13***	1,63±0,16**
Ni	0,082±0,0082	0,053±0,0052**	0,043±0,0042***	0,054±0,0053**
Zn	19,16±1,9	13,25±1,3**	13,17±1,3**	11,83±1,2**
I	1,11±0,11	0,94±0,091	0,55±0,057**	0,57±0,059**
Co	0,0035±0,0003	0,0026±0,0003*	0,0023±0,0002*	0,0021±0,0002*
Mn	0,24±0,023	0,31±0,031*	0,21±0,022	0,21±0,021
Fe	7,86±0,78	8,76±0,87	7,21±0,72	5,85±0,59*
Se	0,27±0,026	0,25±0,024	0,26±0,025	0,27±0,026
B	1,27±0,127	0,36±0,036***	0,31±0,031***	0,34±0,034***
Cu	0,70±0,07	0,81±0,081	0,75±0,065	0,63±0,062
V	0,0055±0,0006	0,0054±0,0005	0,0043±0,0004	0,0056±0,0006
<b>Токсические элементы / <i>Toxic microelements</i></b>				
Hg	0,074±0,0073	0,024±0,0024***	0,026±0,0026***	0,018±0,0017***
Pb	0,0095±0,001	0,0041±0,0004***	0,0039±0,0004***	0,0036±0,0004***
Al	4,19±0,42	1,5±0,15***	2,66±0,23**	0,83±0,15***
Be	0,0009±0,0001	0,0005±0,0001*	0,00033±0,00001***	0,00012±0,00001***
Cd	0,0027±0,0003	0,0056±0,0006**	0,0019±0,0002*	0,0014±0,0001**
Sn	0,0056±0,0006	0,002±0,0002**	0,0054±0,0007	0,0076±0,0008*
As	0,0073±0,0007	0,0072±0,0007	0,0062±0,0006	0,0043±0,0004*

Примечание: \* – P≤0,05; \*\* – P≤0,01; \*\*\* – P≤0,001 при сравнении с контрольной группой  
Note: \* – P≤0.05; \*\* – P≤0.01; \*\*\* – P≤0.001 when compared with the control group

При сравнении эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов установлены достоверные различия во всех опытных группах в сравнении с контролем. Так, для I опытной отмечено снижение кобальта на 25,7 % (P≤0,05), хрома – на 54,7 % (P≤0,001), лития – на 43,2 % (P≤0,01), никеля – на 35,4 % (P≤0,01), кремния – на 45,2 % (P≤0,001), цинка – на 30,8 % (P≤0,01) и бора – на 71,7 % (P≤0,001) при повышении уровня марганца на 29,2 % (P≤0,05).

Для II опытной группы зафиксировали снижение кобальта на 34,3 % (P≤0,05), хрома – на 45,3 % (P≤0,01), йода – на 50,5 % (P≤0,01), лития – на 74,1 % (P≤0,001), никеля – на 47,6 % (P≤0,001), кремния – на 49,8 % (P≤0,001), цинка и бора – на 76,7 % (P≤0,001) и на 31,3 % (P≤0,01).

При использовании УДЧ в III группе установили следующее снижение уровня микроэлементов: кобальта – на 40,0 % ( $P \leq 0,05$ ), хрома – на 42,7 % ( $P \leq 0,01$ ), железа – на 25,6 % ( $P \leq 0,05$ ), йода – на 48,6 % ( $P \leq 0,01$ ), лития – на 71,6 % ( $P \leq 0,001$ ), никеля – на 34,1 % ( $P \leq 0,01$ ), кремния – на 37,5 % ( $P \leq 0,01$ ), цинка и бора – на 73,2 % ( $P \leq 0,001$ ) и 38,3 % ( $P \leq 0,01$ ).

Наиболее заметные отличия установлены для токсических элементов, уровень которых снижался во всех группах в сравнении с контролем, за исключением кадмия – в I группе и олова – в III группе, уровень которых был выше на 107,4 % ( $P \leq 0,01$ ) и 35,7 % ( $P \leq 0,05$ ) соответственно. При использовании в рационе ванилина (I группа) снижались: алюминий – на 64,2 % ( $P \leq 0,001$ ), бериллий – на 44,4 % ( $P \leq 0,05$ ), ртуть – на 67,6 % ( $P \leq 0,001$ ), свинец – на 56,8 % ( $P \leq 0,001$ ) и олово – на 64,3 % ( $P \leq 0,01$ ). Ферментные препараты (II группа) оказали влияние на снижение уровня алюминия на 36,5 % ( $P \leq 0,01$ ), бериллия – на 63,3 % ( $P \leq 0,001$ ), кадмия – на 29,6 % ( $P \leq 0,05$ ), ртути – на 64,9 % ( $P \leq 0,001$ ) и свинца – на 58,9 % ( $P \leq 0,001$ ). Включение УДЧ  $\text{SiO}_2$  в рацион (III группа) также отразилось на снижении уровня токсических элементов: алюминия – на 80,2 % ( $P \leq 0,001$ ), мышьяка – на 41,1 % ( $P \leq 0,05$ ), бериллия – на 86,7 % ( $P \leq 0,001$ ), кадмия – на 48,1 % ( $P \leq 0,01$ ), ртути – на 75,7 % ( $P \leq 0,001$ ) и свинца – на 62,1 % ( $P \leq 0,001$ ).

### **Обсуждение полученных результатов.**

Согласно последним исследованиям (Zoroddu MA et al., 2019) для нормального функционирования организма требуется около 20 основных элементов, среди которых наиболее важными являются натрий, калий, кальций, магний, железо, цинк, медь и марганец. Они играют жизненно-важную роль в метаболизме благодаря окислительно-восстановительным свойствам (Wang C et al., 2020). Снижение или увеличение концентрации микроэлементов может стать причиной токсического воздействия на организм гидробионтов, в том числе снижению иммунитета, ухудшению прироста и увеличению роста числа заболеваний (López-Berenguer G et al., 2020).

При проведении исследования поведение годовиков карпа соответствовало физиологической норме для данного вида, рыба активно потребляла корм и реагировала на внешние раздражители. Повышение живой массы в опытных группах было от 5,4 % ( $P \leq 0,05$ ) до 7,6 % ( $P \leq 0,05$ ) в конце эксперимента.

Пул ряда макроэлементов в мышечных тканях рыб в нашем исследовании снижался ( $P \leq 0,05$ ) при использовании в кормлении ванилина и ферментных препаратов Амилосубтилин и Глюкаваморин, при использовании УДЧ достоверных различий не выявлено. Ранее нами отмечалось увеличение пула макроэлементов при включении добавок на основе пробиотических штаммов (Зуева М.С. и др., 2023) и фитобиотиков (Мирошникова Е.П. и др., 2022) в рацион карпа. В данном случае существует основание полагать, что биологически активные вещества могли спровоцировать незначительный окислительный стресс, в результате которого произошло снижение некоторых показателей (Луканина С.Н. и др., 2020).

Использование биологически активных компонентов в рационе рыб оказывало влияние на снижение ряда эссенциальных и условно-эссенциальных элементов в мышечной ткани от 25,6 % ( $P \leq 0,05$ ) до 75,6 % ( $P \leq 0,001$ ) во всех опытных группах в сравнении с контролем. Снижение эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов обусловлено действием различных кормовых препаратов на животных (в том числе, в связи с повышением активности антиоксидантных ферментов), которое приводит к вымыванию микроэлементов из организма. Данный эффект согласуется с другими исследованиями (Sarkar MMd et al., 2022). Стоит отметить, что при дефиците цинка происходит снижение показателей роста (Dawood MAO et al., 2022), который нами не установлен, что указывает на отсутствие дефицита. При этом был зафиксирован факт, что при использовании веществ в рационе не отмечались изменения в концентрации таких микроэлементов, как селен, медь, ванадий и железо (кроме III группы), что указывает на положительное действие добавок на содержание ряда жизненно важных элементов (Wang C et al., 2020).

Наибольшее значение при определении состава макро- и микроэлементов имеет пул токсических элементов в тканях. Это связано со способностью элементов долго сохраняться в окружающей среде и вызывать токсичность у рыб, продуцируя кислородреактивные формы (Shahjahan M et al., 2022) и воздействуя на активность антиоксидантных ферментов (Yin Y et al., 2019; Luo M et al., 2022). Так, мы зафиксировали, что все биологически активные вещества в составе рациона способствовали снижению уровня токсических элементов. Важное значение имеет снижение концентрации мышьяка, ртути и свинца в образцах, так как содержание этих элементов в небольших концентрациях может повышать смертность (Li H et al., 2022). Кроме того, отдельное внимание стоит уделить олову, уровень которого в I опытной группе снижался, а в III опытной группе повышался, что указывает на действие препаратов и возможную взаимосвязь между оловом, калием и фосфором (Kashparova O et al., 2023). Подобный эффект фиксировался ранее при использовании в рационе пробиотических препаратов (Зуева М.С. и др., 2023).

При повышении концентрации макро- и микроэлементов в мышечных тканях рыбы появляется риск возрастания физиологического стресса и накопления тяжёлых металлов во внутренних органах. При этом увеличивается использование организмом гидробионтов энергии из запасов углеводов, белков и липидов в организме (Shahjahan M et al., 2022). Тенденция к снижению элементного пула говорит об отсутствии риска накопления металлов в мышцах и внутренних органах карпа при использовании биологически активных веществ.

Таким образом, нами выявлены незначительные изменения в концентрации макроэлементов, снижение ряда эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов при незначительных различиях в концентрации ряда жизненно важных показателей (селен, медь, ванадий и железо) и значительное понижение уровня токсических элементов (за исключением кадмия в I и олова в III группах) в мышечной ткани карпа при использовании в рационе биологически активных веществ. Выявленный эффект обуславливают влиянием препаратов на метаболизм рыб, который приводит к росту и улучшению физиологического состояния годовиков.

### **Заключение.**

Биологически активные вещества в составе рациона карпа (*Cyprinus carpio*) оказывают селективное действие на концентрацию химических элементов в мышечной ткани рыб при повышении динамики живой массы. Снижение пула макро-, микроэлементов и токсических элементов связывают с повышением активности антиоксидантных ферментов и активизацией метаболизма, что приводит к улучшению роста и развития гидробионтов.

### **Список источников**

1. Аринжанов А.Е. Влияние ультрадисперсных частиц сплава Cu-Zn и пробиотического штамма *Bacillus subtilis* на элементный статус стерляди // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 4. С. 21-34. [Arinzhanov AE. Effect of ultrafine particles of Cu-Zn alloy and probiotic strain *Bacillus subtilis* on the elemental status of sterlet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):21-34. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-21
2. Влияние биологически активных препаратов на переваримость и использование питательных веществ рациона цыплятами-бройлерами / В.В. Саломатин, А.Т. Варакин, Т.В. Коноблей, Е.Б. Радзиевский // Птицеводство. 2021. № 2. С. 16-20. [Salomatina VV, Varakin AT, Konobley TV, Radzievsky EB. The influence of biologically active additives in diets for broilers on the digestibility and retention of dietary nutrients. Ptitsevodstvo. 2021;2:16-20. (In Russ.)]. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-2-16-20
3. Влияние окислительного стресса на элементный статус тканевых компартментов органов регуляции минерального гомеостаза / С.Н. Луканина, А.В. Сахаров, О.И. Просенко, К.В. Жучаев, Е.А. Борисенко // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2020. Т. 241. № 1. С. 130-137. [Lukanina SN, Sakharov AV, Prosenko OI, Zhuchaev KV, Borisenko EA. Influence of oxidative stress on the element status of tissue of organs regu-

lations of mineral homeostasis. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2020;241(1):130-137. (*In Russ.*). doi: 10.31588/2413-4201-1883-241-1-130-138

4. Влияние пробиотиков на элементный состав мышечной ткани карпа / М.С. Зуева, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // *Животноводство и кормопроизводство*. 2023. Т. 106. № 2. С. 8-20. [Zueva MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV. The effect of probiotics on the elemental composition of muscle tissue in carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):8-20. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-106-2-8

5. Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е., Килякова Ю.В. Влияние фитобиотиков на обмен эссенциальных элементов в организме рыб // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105. № 4. С. 49-58. [Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Influence of phytobiotics on the exchange of essential elements in the body of fish. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):49-58. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-4-49

6. Обзор метааналитических эмпирических данных использования наночастиц эссенциальных элементов в аквакультуре / Е.П. Мирошникова, А.Н. Сизенцов, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // *Животноводство и кормопроизводство*. 2023. Т. 106. № 1. С. 21-34. [Miroshnikova EP, Sizenstov AN, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Review of meta-analytic empirical data on the use of essential element nanoparticles in aquaculture. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(1):21-34. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-106-1-21

7. Приступа В.Н., Рубашкин Р.В. Использование ферментного препарата Глюкаваморин ГЗх при выращивании телок различных линий голштинской породы // *Вестник Донского государственного аграрного университета*. 2020. № 4(38.1). С. 57-61. [Pristupa VN, Rubashkin RV. Using an enzyme preparation Glucavamorin G3x for raising holstein heifers of different lines. *Bulletin of Don State Agrarian University*. 2020;4(38.1):57-61. (*In Russ.*)]

8. Akter S, Jahan N, Rohani MF, Akter Y, Shahjahan M. Chromium Supplementation in Diet Enhances Growth and Feed Utilization of Striped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Biological Trace Element Research*. 2021;199(12):4811-4819. doi: 10.1007/s12011-021-02608-2

9. Amoussou N, Marengo M, Durieux EDH, Douny C, Scippo ML, Gobert S. Trace elements and fatty acid profile of *argyrosomus regius* (Asso, 1801) from mediterranean aquaculture. *Biological Trace Element Research*. 2020;196(2):618-628. doi: 10.1007/s12011-019-01925-x

10. Barone G, Storelli A, Meleleo D, Dambrosio A, Garofalo R, Busco A, Storelli MM. Levels of mercury, methylmercury and selenium in fish: insights into children food safety. *Toxics*. 2021;9(2):39. doi: 10.3390/toxics9020039

11. Chen X, Yi H, Liu Sh, Zhang Y, Su Y, Liu X, et al. Probiotics improve eating disorders in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) induced by a pellet feed diet via stimulating immunity and regulating gut microbiota. *Microorganism*. 2021;9(6):1288. doi: 10.3390/microorganisms9061288

12. Connolly M, Martínez-Morcillo S, Kalman J, Navas JM, Bleeker E, Fernández-Cruz ML. Considerations for bioaccumulation studies in fish with nanomaterials. *Chemosphere*. 2023;312(P.1):137299. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137299

13. Dawood MAO, Alagawany M, Sewilam H. The role of zinc microelement in aquaculture: a review. *Biological Trace Element Research*. 2022;200:3841-3853. doi: 10.1007/s12011-021-02958-x

14. Delahaut V, Rašković B, Salvado MS, Bervoets L, Blust R, De Boeck G. Toxicity and bioaccumulation of cadmium, copper and zinc in a direct comparison at equitoxic concentrations in common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles. *PLoS One*. 2020;15(4): e0220485. doi: 10.1371/journal.pone.0220485

15. Ehnert-Russo SL, Gelsleichter J. Mercury accumulation and effects in the brain of the Atlantic sharpnose shark (*Rhizoprionodon terraenovae*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2020;78:267-283. doi: 10.1007/s00244-019-00691-0

16. Kashparova O, Teien H-Ch, Pavlenko P, Salbu B, Eide DM, Levchuk S, Jensen KA, Protsak V, Hrechaniuk M, Kashparov V. Clean feed as countermeasure to reduce the 90Sr and 137Cs levels in fish from contaminated lakes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2023;258:107091. doi: 10.1016/j.jenvrad.2022.107091



17. Kim HJ, Mahboob S, Viayaraghavan P, Abdullah Al-Ghanim K, Al-Misned F, Ock Kim Y, Ahmed Z. Determination of toxic effects of lead acetate on different sizes of zebra fish (*Danio rerio*) in soft and hard water. *Journal of King Saud University*. 2020;32(2):1390-1394. doi: 10.1016/j.jksus.2019.11.032
18. Li H, Li H, Zhang H, Cao J, Ge T, Gao J, Fang Y, Ye W, Fang T, Shi Y, Zhang R, Dong X, Guo X, Zhang Y. Trace elements in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in China: Spatiotemporal variation and human health implications. *Science of the Total Environment*. 2023;857(P.3):159749. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159749
19. Liu X, Yang J, Li J, Xu C, Jiang W. Vanillin attenuates cadmium-induced lung injury through inhibition of inflammation and lung barrier dysfunction through activating AhR. *Inflammation*. 2021;44(6):2193-2202. doi: 10.1007/s10753-021-01492-1
20. López-Berenguer G, Peñalver J, Martínez-López E. A critical review about neurotoxic effects in marine mammals of mercury and other trace elements. *Chemosphere*. 2020;246:125688. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125688
21. Luo M, Feng G, Ke H. Role of *Clostridium butyricum*, *Bacillus subtilis*, and algae sourced  $\beta$ -1,3 glucan on health in grass turtle. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;131:244-256. doi: 10.1016/j.fsi.2022.09.034
22. Mamdouh S, Mohamed AS, Mohamed HA, Fahmy WS. Zn contamination stimulate agonistic behavior and oxidative stress of crayfishes (*Procambarus clarkii*). *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2022;69:126895. doi: 10.1016/j.jtemb.2021.126895
23. Mohamed AA, El-Houseiny W, EL-Murr AE, Ebraheim LLM, Ahmed AI, El-Hakim YMA. Effect of hexavalent chromium exposure on the liver and kidney tissues related to the expression of CYP450 and GST genes of *Oreochromis niloticus* fish: Role of curcumin supplemented diet. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020;188:109890. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109890
24. Olmos J, Acosta M, Mendoza G, Pitones V. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Arch Microbiology*. 2020;202(3):427-435. doi: 10.1007/s00203-019-01757-2
25. Pinto FR, Duarte AM, Silva F, Barroso S, Mendes S, Pinto E, Almeida A, Sequeira V, Vieira AR, Gordo LS, Gil MM. Annual variations in the mineral element content of five fish species from the Portuguese coast. *Food Research International*. 2022;158:111482. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111482
26. Ribeiro M, Zephyr N, Silva JA, Danion M, Guérin T, Castanheira I, Leufroy A, Jitaru P. Assessment of the mercury-selenium antagonism in rainbow trout fish. *Chemosphere*. 2022;286(Pt.2):45-53. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131749
27. Sarkar MMd, Rohani FMd, Hossain MAR, Shahjahan Md. Evaluation of heavy metal contamination in some selected commercial fish feeds used in Bangladesh. *Biological Trace Element Research*. 2022;200:844-854. doi: 10.1007/s12011-021-02692-4
28. Shahjahan M, Taslima K, Rahman MS, Al-Emran M, Alam SI, Faggio C. Effects of heavy metals on fish physiology – A review. *Chemosphere*. 2022;300:134519. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134519
29. Tiktak GP, Butcher D, Lawrence PJ, Norrey J, Bradley L, Shawa K, Preziosi R, Megson D. Are concentrations of pollutants in sharks, rays and skates (Elasmobranchii) a cause for concern? A systematic review. *Marine Pollution Bulletin*. 2020;160:111701. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111701
30. Wang C, Zhang R, Wei X, Lv M, Jiang Z. Chapter Seven - Metalloimmunology: The metal ion-controlled immunity. *Advances in Immunology*. 2020;145:187-241. doi: 10.1016/bs.ai.2019.11.007
31. Wu Zh, Qi X, Qu Sh, Ling F, Wang G. Dietary supplementation of *Bacillus velezensis* B8 enhances immune response and resistance against *Aeromonas veronii* in grass carp. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021;115:14-21. doi: 10.1016/j.fsi.2021.05.012
32. Yin Y, Yue X, Zhang D, Zhang P, Abdallah A, Yin Y, Cai Y, Li Y. Study of bioaccumulation, hematological parameters, and antioxidant responses of *Carassius auratus gibelio* exposed to dietary lead and *Bacillus subtilis*. *Biological Trace Element Research*. 2019;189(1):233-240. doi: 10.1007/s12011-018-1447-2

33. Zoroddu MA, Aaseth J, Crisponi G, Medici S, Peana M, Nurchi VM. The essential metals for humans: a brief overview. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2019;195:120-129. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2019.03.013

### References

1. Arinzhanov AE. Effect of ultrafine particles of Cu-Zn alloy and probiotic strain *Bacillus subtilis* on the elemental status of sterlet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):21-34. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-21
2. Salomatin VV, Varakin AT, Konobley TV, Radzievsky EB. The influence of biologically active additives in diets for broilers on the digestibility and retention of dietary nutrients. *Ptitsevodstvo*. 2021;2:16-20. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-2-16-20
3. Lukanina SN, Sakharov AV, Prosenko OI, Zhuchaev KV, Borisenko EA. Influence of oxidative stress on the element status of tissue of organs regulations of mineral homeostasis. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2020;241(1):130-137. doi: 10.31588/2413-4201-1883-241-1-130-138
4. Zueva MS, Mirosnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV. The effect of probiotics on the elemental composition of muscle tissue in carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):8-20. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-8
5. Mirosnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Influence of phytobiotics on the exchange of essential elements in the body of fish. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):49-58. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-49
6. Mirosnikova EP, Sizentsov AN, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Review of meta-analytic empirical data on the use of essential element nanoparticles in aquaculture. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(1):21-34. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-21
7. Pristupa VN, Rubashkin RV. Using an enzyme preparation Glucavamorin G3x for raising holstein heifers of different lines. *Bulletin of Don State Agrarian University*. 2020;4(38.1):57-61.
8. Akter S, Jahan N, Rohani MF, Akter Y, Shahjahan M. Chromium Supplementation in Diet Enhances Growth and Feed Utilization of Striped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Biological Trace Element Research*. 2021;199(12):4811-4819. doi: 10.1007/s12011-021-02608-2
9. Amoussou N, Marengo M, Durieux EDH, Douny C, Scippo ML, Gobert S. Trace elements and fatty acid profile of *argyrosomus regius* (Asso, 1801) from mediterranean aquaculture. *Biological Trace Element Research*. 2020;196(2):618-628. doi: 10.1007/s12011-019-01925-x
10. Barone G, Storelli A, Meleleo D, Dambrosio A, Garofalo R, Busco A, Storelli MM. Levels of mercury, methylmercury and selenium in fish: insights into children food safety. *Toxics*. 2021;9(2):39. doi: 10.3390/toxics9020039
11. Chen X, Yi H, Liu Sh, Zhang Y, Su Y, Liu X, et al. Probiotics improve eating disorders in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) induced by a pellet feed diet via stimulating immunity and regulating gut microbiota. *Microorganism*. 2021;9(6):1288. doi: 10.3390/microorganisms9061288
12. Connolly M, Martínez-Morcillo S, Kalman J, Navas JM, Bleeker E, Fernández-Cruz ML. Considerations for bioaccumulation studies in fish with nanomaterials. *Chemosphere*. 2023;312(P.1):137299. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137299
13. Dawood MAO, Alagawany M, Sewilam H. The role of zinc microelement in aquaculture: a review. *Biological Trace Element Research*. 2022;200:3841-3853. doi: 10.1007/s12011-021-02958-x
14. Delahaut V, Rašković B, Salvado MS, Bervoets L, Blust R, De Boeck G. Toxicity and bioaccumulation of cadmium, copper and zinc in a direct comparison at equitoxic concentrations in common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles. *PLoS One*. 2020;15(4): e0220485. doi: 10.1371/journal.pone.0220485
15. Ehnert-Russo SL, Gelsleichter J. Mercury accumulation and effects in the brain of the Atlantic sharpnose shark (*Rhizoprionodon terraenovae*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2020;78:267-283. doi: 10.1007/s00244-019-00691-0

16. Kashparova O, Teien H-Ch, Pavlenko P, Salbu B, Eide DM, Levchuk S, Jensen KA, Protsak V, Hrechaniuk M, Kashparov V. Clean feed as countermeasure to reduce the 90Sr and 137Cs levels in fish from contaminated lakes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2023;258:107091. doi: 10.1016/j.jenvrad.2022.107091
17. Kim HJ, Mahboob S, Viayaraghavan P, Abdullah Al-Ghanim K, Al-Misned F, Ock Kim Y, Ahmed Z. Determination of toxic effects of lead acetate on different sizes of zebra fish (*Danio rerio*) in soft and hard water. *Journal of King Saud University*. 2020;32(2):1390-1394. doi: 10.1016/j.jksus.2019.11.032
18. Li H, Li H, Zhang H, Cao J, Ge T, Gao J, Fang Y, Ye W, Fang T, Shi Y, Zhang R, Dong X, Guo X, Zhang Y. Trace elements in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in China: Spatiotemporal variation and human health implications. *Science of the Total Environment*. 2023;857(P.3):159749. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159749
19. Liu X, Yang J, Li J, Xu C, Jiang W. Vanillin attenuates cadmium-induced lung injury through inhibition of inflammation and lung barrier dysfunction through activating AhR. *Inflammation*. 2021;44(6):2193-2202. doi: 10.1007/s10753-021-01492-1
20. López-Berenguer G, Peñalver J, Martínez-López E. A critical review about neurotoxic effects in marine mammals of mercury and other trace elements. *Chemosphere*. 2020;246:125688. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125688
21. Luo M, Feng G, Ke H. Role of *Clostridium butyricum*, *Bacillus subtilis*, and algae sourced  $\beta$ -1,3 glucan on health in grass turtle. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;131:244-256. doi: 10.1016/j.fsi.2022.09.034
22. Mamdouh S, Mohamed AS, Mohamed HA, Fahmy WS. Zn contamination stimulate agonistic behavior and oxidative stress of crayfishes (*Procambarus clarkii*). *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2022;69:126895. doi: 10.1016/j.jtemb.2021.126895
23. Mohamed AA, El-Houseiny W, EL-Murr AE, Ebraheim LLM, Ahmed AI, El-Hakim YMA. Effect of hexavalent chromium exposure on the liver and kidney tissues related to the expression of CYP450 and GST genes of *Oreochromis niloticus* fish: Role of curcumin supplemented diet. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020;188:109890. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109890
24. Olmos J, Acosta M, Mendoza G, Pitones V. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Arch Microbiology*. 2020;202(3):427-435. doi: 10.1007/s00203-019-01757-2
25. Pinto FR, Duarte AM, Silva F, Barroso S, Mendes S, Pinto E, Almeida A, Sequeira V, Vieira AR, Gordo LS, Gil MM. Annual variations in the mineral element content of five fish species from the Portuguese coast. *Food Research International*. 2022;158:111482. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111482
26. Ribeiro M, Zephyr N, Silva JA, Danion M, Guérin T, Castanheira I, Leufroy A, Jitaru P. Assessment of the mercury-selenium antagonism in rainbow trout fish. *Chemosphere*. 2022;286(Pt.2):45-53. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131749
27. Sarkar MMd, Rohani FMd, Hossain MAR, Shahjahan Md. Evaluation of heavy metal contamination in some selected commercial fish feeds used in Bangladesh. *Biological Trace Element Research*. 2022;200:844-854. doi: 10.1007/s12011-021-02692-4
28. Shahjahan M, Taslima K, Rahman MS, Al-Emran M, Alam SI, Faggio C. Effects of heavy metals on fish physiology – A review. *Chemosphere*. 2022;300:134519. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134519
29. Tiktak GP, Butcher D, Lawrence PJ, Norrey J, Bradley L, Shawa K, Preziosi R, Megson D. Are concentrations of pollutants in sharks, rays and skates (Elasmobranchii) a cause for concern? A systematic review. *Marine Pollution Bulletin*. 2020;160:111701. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111701
30. Wang C, Zhang R, Wei X, Lv M, Jiang Z. Chapter Seven - Metalloimmunology: The metal ion-controlled immunity. *Advances in Immunology*. 2020;145:187-241. doi: 10.1016/bs.ai.2019.11.007
31. Wu Zh, Qi X, Qu Sh, Ling F, Wang G. Dietary supplementation of *Bacillus velezensis* B8 enhances immune response and resistance against *Aeromonas veronii* in grass carp. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021;115:14-21. doi: 10.1016/j.fsi.2021.05.012
32. Yin Y, Yue X, Zhang D, Zhang P, Abdallah A, Yin Y, Cai Y, Li Y. Study of bioaccumulation, hematological parameters, and antioxidant responses of *Carassius auratus gibelio* exposed to dietary lead and *Bacillus subtilis*. *Biological Trace Element Research*. 2019;189(1):233-240. doi: 10.1007/s12011-018-1447-2

33. Zoroddu MA, Aaseth J, Crisponi G, Medici S, Peana M, Nurchi VM. The essential metals for humans: a brief overview. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2019;195:120-129. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2019.03.013

**Информация об авторах:**

**Марина Сергеевна Мингазова**, ассистент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13; аспирант 2 года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29, тел.: 8-922-853-24-46.

**Елена Петровна Мирошникова**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-987-862-98-86.

**Азамат Ерсанович Аринжанов**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-806-33-43.

**Юлия Владимировна Киякова**, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-961-920-40-64.

**Information about the authors:**

**Marina S Mingazova**, Assistant of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, Postgraduate student of 2 year of study, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanvarya St., 29, Orenburg, 460000, tel.: 8-922-853-24-46.

**Elena P Miroshnikova**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-987-862-98-86.

**Azamat E Arinzhanov**, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-922-806-33-43.

**Yulia V Kilyakova**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-961-920-40-64.

Статья поступила в редакцию 30.10.2023; одобрена после рецензирования 07.11.2023; принята к публикации 11.12.2023.

The article was submitted 30.10.2023; approved after reviewing 07.11.2023; accepted for publication 11.12.2023.