

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 3. С. 235-246.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No 3. P. 235-246.

Научная статья
УДК 639.3.043:577.17:591.11
doi:10.33284/2658-3135-108-3-235

**Рост и гематологические параметры карпа при использовании в кормлении
нанокompозита Cu-C**

**Дмитрий Иванович Буланин^{1,2}, Марина Сергеевна Мингазова³, Елена Петровна Мирошникова⁴,
Юлия Владимировна Килякова⁵, Азамат Ерсайнович Аринжанов⁶**

^{1,3,4,5,6}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

²Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, Оренбург, Россия

^{1,2}bulanin.dmitry@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-3574-0880>

³ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

⁴elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

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

⁶arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Аннотация. Нанокompозиты в рационах рыб являются новым направлением в сфере аквакультуры и производства кормов для гидробионтов. Дополнительное внесение нанокompозитов в корма может стимулировать улучшение всасывания кормового препарата и улучшать физиологическое состояние организма. В статье представлены результаты исследования по изучению влияния нанокompозита Cu-C (40-60 нм) в дозировках 0,2 и 0,4 ppm на ростовые показатели и морфобиохимические параметры крови карпа (*Cyprinus carpio*). Результаты показали, что нанокompозит Cu-C оказывал ростостимулирующий эффект после 6 недель эксперимента, достигая максимальных значений на 8 неделе – от 10,8 % (0,4 ppm) до 15,3 % (0,2 ppm). По данным морфологии и биохимии крови было выявлено, что препарат в дозировке 0,2 ppm приводил к снижению тромбоцитов ($P \leq 0,01$), лейкоцитов ($P \leq 0,05$), АЛТ ($P \leq 0,05$), АСТ ($P \leq 0,01$), железа ($P \leq 0,05$) и фосфора ($P \leq 0,05$), при повышении концентрации глюкозы ($P \leq 0,05$), альбумина ($P \leq 0,05$) и холестерина ($P \leq 0,01$). Нанокompозит Cu-C в дозировке 0,4 ppm оказывал действие на снижение уровня эритроцитов ($P \leq 0,05$), гематокрита ($P \leq 0,05$), гемоглобина ($P \leq 0,01$), лейкоцитов ($P \leq 0,01$) и железа ($P \leq 0,01$), при увеличении глюкозы ($P \leq 0,05$), альбумина ($P \leq 0,01$), холестерина ($P \leq 0,001$) и кальция ($P \leq 0,05$). Таким образом, нанокompозит Cu-C в дозировках 0,2 и 0,4 ppm приводил к улучшению белкового и липидного обменов веществ, что положительно отражалось на росте подопытных рыб. Лучшие результаты были получены на фоне введения нанокompозита Cu-C в дозировке 0,2 ppm, что отразилось в изменении концентрации АЛТ и АСТ и улучшении ферментной активности, а также в повышении прироста живой массы. Полученные данные подтверждают возможность использования нанокompозита Cu-C в аквакультуре, однако требуют дальнейших исследований для оценки его долгосрочного воздействия.

Ключевые слова: аквакультура, карп, кормление, нанокompозит, медь, ультрадисперсные частицы, рост, биохимические показатели, морфологические показатели

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (№ 075-15-2024-550).

Для цитирования. Рост и гематологические параметры карпа при использовании в кормлении нанокompозита Cu-C / Д.И. Буланин, М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Килякова, А.Е. Аринжанов // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 3. С. 235-246. [Bulanin DI, Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. Growth and hematological parameters of carp when using nanocomposite of Cu-C in feeding. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(3):235-246. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-3-235>

Original article

Growth and hematological parameters of carp when using nanocomposite of Cu-C in feeding

**Dmitry I Bulanin^{1,2}, Marina S Mingazova³, Elena P Miroshnikova⁴, Yulia V Kilyakova⁵,
Azamat E Arinzhanov⁶**

^{1,3,4,5,6}Orenburg State University, Orenburg, Russia

²Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy
of Sciences, Orenburg, Russia

^{1,2}bulanin.dmitry@gmail.com

³ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

⁴elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

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

⁶arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Abstract. Nanocomposites in fish diets represent a new area of research in the field of aquaculture and hydrobionts feed production. Additional introduction of nanocomposites into feed can stimulate improvement of feed preparation absorption and improve physiological state of the organism. The article presents the results of the study on the effect of Cu-C nanocomposite (40-60 nm) in dosages of 0.2 and 0.4 ppm on growth indices and morphobiochemical parameters of blood of carp (*Cyprinus carpio*). The results showed that Cu-C nanocomposite had a growth-stimulating effect after 6 weeks of the experiment, reaching maximum values at 8 weeks – from 10.8% (0.4 ppm) to 15.3% (0.2 ppm). According to the blood morphology and biochemistry data, it was revealed that the drug at a dosage of 0.2 ppm led to a decrease in platelets ($P \leq 0.01$), leukocytes ($P \leq 0.05$), ALT ($P \leq 0.05$), AST ($P \leq 0.01$), iron ($P \leq 0.05$) and phosphorus ($P \leq 0.05$), with an increase in the concentration of glucose ($P \leq 0.05$), albumin ($P \leq 0.05$) and cholesterol ($P \leq 0.01$). The Cu-C nanocomposite at a dosage of 0.4 ppm had an effect on the decrease in the level of erythrocytes ($P \leq 0.05$), hematocrit ($P \leq 0.05$), hemoglobin ($P \leq 0.01$), leukocytes ($P \leq 0.01$) and iron ($P \leq 0.01$), with an increase in glucose ($P \leq 0.05$), albumin ($P \leq 0.01$), cholesterol ($P \leq 0.001$) and calcium ($P \leq 0.05$). Thus, the Cu-C nanocomposite at dosages of 0.2 and 0.4 ppm led to an improvement in protein and lipid metabolism, which positively affected the growth of the experimental fish. The best results were obtained with the introduction of Cu-C nanocomposite at a dosage of 0.2 ppm, which was reflected in a change in the concentration of ALT and AST and an improvement in enzyme activity, as well as an increase in live weight gain. The data obtained confirm the possibility of using Cu-C nanocomposite in aquaculture, but require further research to assess its long-term impact.

Keywords: aquaculture, carp, feeding, nanocomposite, copper, ultrafine particles, growth, biochemical parameters, morphological parameters

Acknowledgments: the work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (No. 075-15-2024-550).

For citation: Bulanin DI, Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. Growth and hematological parameters of carp when using nanocomposite of Cu-C in feeding. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(3):235-246. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-3-235>

Введение.

Рыба – один из основных источников продукта для населения, богатым высококачественным животным белком (Maulu S et al., 2021). Благодаря нежному и диетическому мясу, является важным компонентом рациона многих людей. Кроме того, она содержит 8 незаменимых аминокислот, витамины А, D, В₁, В₂, В₃, С, а также различные микроэлементы, в том числе кальций, фтор, йод, железо, цинк, магний и другие (Nabi N et al., 2022). А также содержит жирные кислоты омега-3 – эйкозапентаеновую кислоту и докозагексаеновую кислоту (Subaramaniyam U et al., 2023).

Аквакультура в настоящее время является наиболее перспективной и быстро развивающейся отраслью сельского хозяйства. В России предусмотрены различные программы, стимулирующие

щие развитие производства. Согласно отчету продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), отмечается ежегодное повышение производства продукции гидробионтов в среднем на 3,2-4,0 %. При этом ожидается увеличение доли продукции водных биоресурсов, производимых на объектах аквакультуры, до 60,0 % (Гурнак Е.Е. и Наливайко М.Н., 2022; Серегин С.Н. и др., 2023; ФАО, 2020).

Одним из главных преимуществ развития аквакультуры является снижение нагрузки на природные водные экосистемы. Интенсивный промысловый вылов рыбы привел к значительному сокращению многих видов и ухудшению состояния морских экосистем. Выращивание рыбы в условиях рыбных хозяйств позволяет не только увеличивать производство товарной рыбы без ущерба природе, но и восполнять популяции ценных промысловых видов (Макоедов А.Н. и др., 2023).

Увеличение доли производства гидробионтов в настоящее время невозможно без использования современных сбалансированных кормов и рационов кормления. На сегодняшний день включение в рацион рыб дополнительных веществ показало высокую эффективность (Мингазова М.С. и др., 2023). Введение в рацион рыб биологически активных веществ стимулирует улучшение параметров роста и крови, повышение иммунитета и состояние микробиома организма, тем самым улучшая физиологическое состояние организма рыб и их продуктивность (Liang Q et al., 2022; Rahman M et al., 2022).

Одним из перспективных направлений развития аквакультуры является использование ультрадисперсных частиц металлов (УДЧ) в качестве дополнительных веществ, включаемых в кормление рыб (Zhang L et al., 2023). УДЧ обладают рядом преимуществ, среди которых можно выделить хорошую клеточную проницаемость и повышенную удельную площадь поверхности, что в свою очередь влияет на активность процессов жизнедеятельности организма рыб (Naguib M et al., 2020). Новым направлением является применение современных нанокompозитных материалов, которые состоят из носителя и нанесенных на него УДЧ. Нанокompозиты обладают каталитическими и адсорбирующими свойствами, что делает их перспективными компонентами рациона сельскохозяйственных животных и рыбы (Hatab MN et al., 2022).

Ранее применение меди в кормлении карпа показало положительное действие на организм (Мирошникова Е.П. и др., 2025a). Медь относится к эссенциальным микроэлементам в организме рыб и принимает участие в ряде важных физиологических процессов. Она играет ключевую роль в процессе эритропоэза и кислородного обмена. Является составной частью многих ферментов организма, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях. Однако переизбыток меди в организме рыбы может деструктивно повлиять на физиологическое состояние (Карпенко Л.Ю. и др., 2020).

Цель исследования.

Изучить ростовые показатели и морфобиохимические параметры крови карпа, в рацион которого дополнительно включили нанокompозит Cu-C в дозировках 0,2 и 0,4 ppm.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Годовики карпа (*Cyprinus carpio*) ($m=44,0\pm4,0$ г).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследование проведено на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета. Длительность – 56 суток. Методом пар-аналогов были сформированы 3 группы (в каждой по $n=10$). Контрольная группа потребляла основной рацион (ОР), представленный комбикормом КРК-110-1 (ОАО «Оренбургский комбикормовый завод»), опытные группы дополнительно к ОР потребляли нанокompозит меди на углеродной матрице (Cu-C) в различных дозировках: I опытная группа – 0,2 ppm, II опытная группа – 0,4 ppm. Кормление осуществляли ежедневно в светлое время суток от 4 до 6 раз, в количестве 5 % от массы тела. Пересчет делали еженедельно по результатам взвешивания.

Нанокompозит Cu-C (40-60 нм) получен в Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск). Добавку наносили на корм путем опрыскивания тонким слоем. Предварительно нанокompозит диспергировали в физиологическом растворе при помощи ультразвукового гомогенизатора Scientz JY92-IIIDN («Scientz», КНР).

Измерение живой массы осуществляли путем индивидуального взвешивания, проводимого еженедельно до кормления (± 1 г). Отбор крови проводили однократно, в последний день исследования методом отсечения хвостового плавника в вакуумные пробирки (ООО «МиниМед», Россия).

Оборудование и технические средства. Гематологические параметры крови рыб были исследованы по стандартным методикам в Испытательном центре ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>) на автоматическом гематологическом анализаторе «URIT-2900 Vet Plus» («URIT Medical», Китай) и автоматическом биохимическом анализаторе «DIRUI CS-T240» («DURIT Industrial Co., Ltd», Китай).

Статистическая обработка. Экспериментальные данные обработаны с помощью программы «Statistica 10.0» («StatSoft Inc.», США) по методу Стьюдента. Полученные значения ($M \pm m$) с уровнем достоверности $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ и $P \leq 0,001$ считались статистически значимым.

Результаты исследования.

Дополнительное использование нанокompозита Cu-C в различных дозировках в рационе карпа положительно отразилось на приросте живой массы (рис. 1).

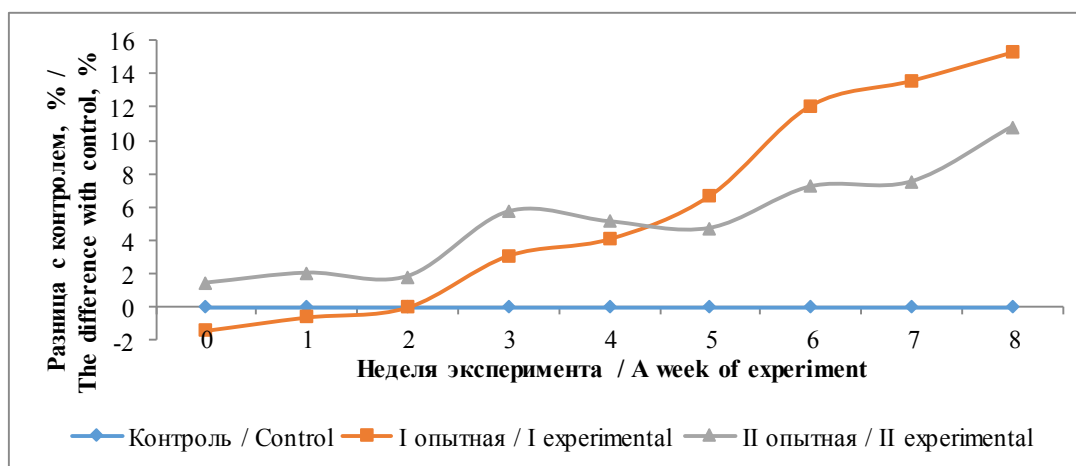


Рисунок 1. Динамика живой массы карпа в опытных группах относительно контроля, %

Figure 1. Dynamics of live weight of carp in experimental groups relative to control, %

До 5 недели исследования (включительно) прирост в опытных группах был незначительным и превышал контрольные значения до 6,7 %. Начиная с 6 недели, в I опытной группе отмечалось значительное повышение живой массы. Так, на 6 неделе исследования средняя масса карпа превышала значения контрольной группы на 12,1 % ($P \leq 0,01$), на 7 неделе превышение составило 13,6 % ($P \leq 0,01$). Максимальный прирост живой массы был достигнут на 8 неделе и отличался от контрольной группы на 15,3 % ($P \leq 0,001$).

Во II опытной группы живая масса карпа на 6 и 7 неделях эксперимента превысила контрольные значения на 7,2 % ($P \leq 0,05$) и 7,5 % ($P \leq 0,05$) с максимальным приростом на 8 неделе, когда разлчиия с контролем составили 10,8 % ($P \leq 0,01$).

Согласно результатам морфологических параметров сыворотки крови карпа (табл. 1) установлено снижение концентрации лейкоцитов в обеих опытных группах: в I – на 12,9 % ($P \leq 0,05$), во II – на 21,8 % ($P \leq 0,01$) относительно контрольных значений.

Таблица 1. Морфологические показатели крови карпа
 Table 1. Morphological blood parameters of carp

Показатели / Indicators	Группа / Group		
	контроль / Control	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental
Тромбоциты, $10^9/\text{л}$ / Thrombocytes, $10^9/\text{l}$	12,3 $\pm$ 1,53	7,33 $\pm$ 0,58**	13,7 $\pm$ 0,58
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$ / Leukocytes, $10^9/\text{l}$	116,0 $\pm$ 5,13	101,0 $\pm$ 4,51*	90,7 $\pm$ 5,51**
Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$ / Erythrocytes, $10^{12}/\text{l}$	0,67 $\pm$ 0,06	0,70 $\pm$ 0,06	0,47 $\pm$ 0,05*
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	128,0 $\pm$ 5,51	121,0 $\pm$ 6,11	102,0 $\pm$ 4,36**
Гематокрит, % / Hematocrit, %	13,1 $\pm$ 1,4	14,3 $\pm$ 1,2	9,9 $\pm$ 1,7*

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ при сравнении с контролем

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$ when compared with the control

Кроме того, в I опытной группе выявлено значительное снижение тромбоцитов на 40,4 % ($P \leq 0,01$) относительно контроля. В то же время во II группе установлено понижение уровня гемоглобина и эритроцитов на 20,3 % ($P \leq 0,01$) и 29,9 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

По результатам биохимических показателей крови (табл. 2) было выявлено, что в опытных группах повышался уровень глюкозы. Так, ее концентрация в I и II опытных группах была выше контроля на 38,4 % ($P \leq 0,05$) и 28,8 % ($P \leq 0,05$). Исследуя другие биохимические показатели сыворотки крови карпа, установлено повышение концентрации альбумина и холестерина на 46,7 % ($P \leq 0,05$) и 70 % ($P \leq 0,01$) в I опытной группе и на 56,1 % ($P \leq 0,01$) и 105 % ($P \leq 0,001$) – во II опытной группе относительно контрольных значений. В то же время только в I группе выявили снижение аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ) на 34,7 % ($P \leq 0,05$) и 58,2 % ($P \leq 0,01$) относительно контроля.

По минеральному составу сыворотки крови в опытных группах установлено снижение железа на 31,7 % ($P \leq 0,05$) в I группе и на 35,7 % ($P \leq 0,01$) – во II группе по сравнению с контролем. Однако во II опытной группе было отмечено повышение кальция на 30,5 % ($P \leq 0,05$) при снижении фосфора на 31 % ($P \leq 0,05$) в I группе.

Таблица 2. Биохимические показатели крови карпа
Table 2. Biochemical blood parameters of carp

Показатели / Indicators	Группа / Group		
	контроль / Control	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental
АЛТ, Ед/л / ALT, U/l	55,4±7,47	36,2±4,58*	43,6±6,66
АСТ, Ед/л / AST, U/l	304,0±39,6	127,0±43,5**	295,0±37,3
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	3,20±0,44	4,43±0,16*	4,12±0,37*
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	10,7±1,53	15,7±2,08*	16,7±1,16**
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	22,9±2,12	26,8±2,77	22,7±2,64
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l	12,3±2,90	17,2±2,24	14,8±2,08
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	1,30±0,23	2,21±0,16**	2,66±0,21***
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	2,60±0,46	2,77±0,55	1,93±0,32
Билирубин общий, мкмоль/л / Total bilirubin, μmol/l	1,27±0,17	1,54±0,17	1,30±0,13
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/l	1,59±0,45	2,31±0,42	2,05±0,38
Мочевая кислота, мкмоль/л / Uric acid μmol/l	20,5±0,90	18,6±0,81	18,6±1,31
Железо, мкмоль/л / Iron, μmol/l	3,47±0,40	2,37±0,15*	2,23±0,15**
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	2,03±0,28	1,77±0,30	2,65±0,17*
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	2,68±0,36	1,85±0,34*	2,99±0,17

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ при сравнении с контролем

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$; *** – $P \leq 0.001$ when compared with the control

Обсуждение полученных результатов.

Медь является важным микроэлементом, необходимым для нормального функционирования организма, улучшения роста и продуктивности. Использование микроэлементов в форме УДЧ в кормах способствуют их лучшему усвоению, так как они хорошо усваиваются организмом за счет адсорбционных свойств, высокой активности, каталитической эффективности (Gharaei A et al., 2020). Положительное влияние добавок на основе наночастиц металлов на продуктивность рыб неоднократно подтверждалось как отечественными учеными (Мирошникова Е.П. и др., 2025б), так и зарубежными (Abinaya M et al., 2023; Silva VF et al., 2024).

В нашем исследовании установлено, что динамика прироста живой массы карпа начинала активно увеличиваться с 6 недели эксперимента, достигая максимальных значений на 8 неделе, когда значения в опытных группах превышали контроль от 10,8 % ($P \leq 0,01$) до 15,3 % ($P \leq 0,001$). В раннее проведенных исследованиях (Мингазова М.С. и др., 2023) указывалось, что в течение первых 3-5 недель происходят адаптационные изменения к новым условиям кормления, после чего начинает отмечаться активный прирост массы тела. Ростостимулирующий эффект от введения нанокompозита Cu-C в рацион карпа может объясняться тем, что в кормах возрастала концентрация меди, которая отвечает за рост, улучшение метаболизма и активность ферментов. Кроме того, низкая дозировка обладает более высокой эффективностью в связи с лучшей усвояемостью и биодоступностью для гидробионтов (Delavari NM et al., 2022). Однако при использовании нанокompозита Cu-C в более высоких дозировках (0,8 и 2 мг/кг корма) изменения в динамике живой массы не фиксировали (Мирошникова Е.П. и др., 2025а).

Важным этапом при оценке влияния биологически активных веществ на организм рыбы являются показатели гематологических исследований, отражающие физиологическое состояние и влияние на обменные процессы, выступающие маркерами изменения качества внутренних и внеш-

них факторов среды (Ullah M et al., 2022). Дополнительное применение УДЧ в кормлении карпа способно улучшить гематологические показатели, однако выбор дозировки является актуальным вопросом в связи с различным действием на организм (Hussain SM et al., 2024).

Выявлено, что концентрация ряда морфологических показателей крови карпа в опытных группах снижалась. Значительные изменения были установлены при использовании нанокompозита Cu-C в дозировке 0,4 ppm, во II опытной группе были снижены концентрации эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов и гематокрита, что может указывать на незначительное токсическое воздействие добавки на организм и отражаться на приросте массы. В то же время меньшая дозировка препарата (0,2 ppm) оказывала действие только на тромбоциты и лейкоциты. Следует указать, что лейкоциты в крови животных ответственны за воспалительные процессы и в норме у рыб концентрация должна быть в пределах $49-81 \cdot 10^9/\text{л}$ (Мингазова М.С. и др., 2025), снижение его концентрации в крови карпа указывало на положительное действие нанокompозита на иммунитет рыб, что согласуется с другими исследованиями (Ghirmai S et al., 2022).

Несмотря на снижение ряда морфологических показателей крови во II опытной группе (до 0,4 ppm), было установлено благоприятное воздействие на биохимию крови. Так, в обеих опытных группах по сравнению с контрольными значениями возрастали концентрации альбумина и холестерина, что указывало на улучшение белкового и липидного обменов веществ (Любомирова В.Н. и др., 2024; Никифоров-Никишин Д.Л. и др., 2024). Однако повышение глюкозы в группах относительно контроля и референсных значений (1,5–4 ммоль/л) может указывать на развитие физиологического стресса, а снижение железа в сыворотке крови – следствие антагонистической реакции между медью и железом (Yaqub A et al., 2023; Rolić T et al., 2025). Кроме того, в сыворотке крови опытных групп снижались фосфор (I опытная) и кальций (II опытная), но результаты были в пределах нормы (Мингазова М.С. и др., 2025).

Отдельно следует указать на снижение концентрации АЛТ и АСТ в группе, потреблявшей нанокompозит Cu-C в дозировке 0,2 ppm. В I опытной группе данные показатели были в пределах референсных значений и отражали эффективность использования в кормлении нанокompозита в небольшой дозировке и стимулирование иммунного ответа у рыб. Повышение АЛТ и АСТ выше нормы может указывать на развитие проблем с сердцем, печенью и другими жизненно важными органами (Nabi N et al., 2022), что в нашем исследовании не выявлено.

Заключение.

Действие нанокompозита Cu-C в дозировках 0,2 и 0,4 ppm в рационе карпа способствовало повышению ростовых показателей и изменению в морфо-биохимических параметрах крови:

1. При использовании препарата в дозировке 0,2 ppm прирост живой массы был до 15,3 % выше относительно контроля, при улучшении белкового и липидного обменов веществ, и ферментной активности за счет снижения АЛТ и АСТ, а также повышение иммунного ответа у рыб.

2. Нанокompозит Cu-C в дозировке 0,4 ppm стимулировал прирост живой массы до 10,8 % при улучшении белкового и липидного обменов, однако выявлено снижение ряда морфологических параметров крови.

3. Дополнительное применение нанокompозита Cu-C как в дозировке 0,2, так и 0,4 ppm, приводило к незначительному физиологическому стрессу, что отражалось на повышении концентрации глюкозы в опытных группах.

Таким образом, лучшие результаты по ростовым показателям и морфо-биохимическим параметрам крови карпа были получены при применении нанокompозита Cu-C в дозировке 0,2 ppm.

Список источников

1. Анализ влияния меди на углеводный обмен у карпа / Л.Ю. Карпенко, П.А. Полистовская, А.И. Енукашвили, А.Б. Балыкина // Международный вестник ветеринарии. 2020. № 2. С. 162–165. [Karpenko LYu, Polistovskaya PA, Enukashvili AI, Balykina AB. Analysis of the influence of cop-

per on carbohydrate metabolism in carp. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2020;2:162-165. (In Russ.)). doi: 10.17238/issn2072-2419.2020.2.162

2. Влияние биологически активных кормовых добавок в составе рациона на гематологические параметры рыбы / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Килякова, А.Е. Аринжанов // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 158-174. [Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. The effect of biologically active feed additives in the diet on the hematological parameters of fish. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):158-174. (In Russ.)). doi: 10.33284/2658-3135-108-1-158

3. Влияние нанокompозита Cu-C на гематологические показатели карпа / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова, М.С. Мингазова // Вестник КрасГАУ. 2025а. № 3. С. 140-148. [Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV, Mingazova MS. The effect of Cu-C nanocomposite on hematological parameters of carp. Bulletin of KSAU. 2025a;3:140-148. (In Russ.)). doi: 10.36718/1819-4036-2025-3-140-148

4. Влияние пробиотического препарата "Акваспорин" на рыбоводно-биологические, физиологические и гистологические показатели радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) / Д.Л. Никифоров-Никишин, Н.И. Кочетков, В.В. Джавахия, Е.В. Глаголева, Н.С. Гинаят, А.Л. Никифоров-Никишин, М.И. Карташов, М.М. Увайдов // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2024. № 3. С. 20-32. [Nikiforov NDL, Kochetkov NI, Dzhavakhiya VV, Glagoleva EV, Ginyatov NS, Nikiforov-Nikishin AL, Kartashov MI, Uvaidov MM. Influence of the probiotic preparation "Aquasporin" on fish-breeding-biological, physiological and histological indicators of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2024;3:20-32. (In Russ.)).

5. Гурнак Е.Е., Наливайко М.Н. Роль рыбохозяйственного сектора в обеспечении продовольственной безопасности // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2022. № 4 (80). С. 33-38. [Gurnak EE, Nalivayko MN. Role of fisheries sector in food security. Vestnik of Rostov State University of Economics (RINH). 2022;4:33-38. (In Russ.)). doi: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2023.80.4.005

6. 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. [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.)). doi: 10.33284/2658-3135-106-4-18

7. Мировые тенденции пользования водными биоресурсами / А.Н. Макоедов, Г.Г. Матишов, Е.Н. Пономарева // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 2. С. 179-190. [Makoev AN, Matishov GG, Ponomareva EN. Mirovyie tendentsii pol'zovaniya vodnymi bioresursami. Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk. 2023;93(2):179-190. (In Russ.)). doi: 10.31857/S086958732301005X

8. Показатели эффективности кормовой добавки "Правда" при выращивании русского осетра в промышленной аквакультуре / В.Н. Любомирова, Е.М. Романова, В.В. Романов, Е.С. Любомирова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4(68). С. 145-150. [Lyubomirova VN, Romanova EM, Romanov VV, Lyubomirova ES. Efficiency parameters of the feed additive "Pravda" in rearing Russian sturgeon in industrial aquaculture. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024;4(68):145-150. (In Russ.)). doi: 10.18286/1816-4501-2024-4-145-150

9. Развитие аквакультуры: мировые тенденции и возможности российского производства / С.Н. Серегин, Х.Н. Гасанова, М.С. Караваева, Р.Р. Тазетдинов // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 2 (96). С. 113-125. [Seregin SN, Gasanova KhN, Karavaeva MS, Tazetdinov RR. Development of aquaculture: world trends and possibilities of Russian production. Economy, Labor, Management in Agriculture. 2023;2(96):113-125. (In Russ.)). doi: 10.33938/232-113

10. ФАО. 2020. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2020. Меры по повышению устойчивости. Рим, ФАО. [FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome, FAO. (*In Russ.*)]. doi: 10.4060/ca9229ru
11. Элементный статус карпа при введении в рацион биологически активных кормовых добавок / Е.П. Мирошникова, М.С. Мингазова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025б. № 1. С. 75-84. [Miroshnikova EP, Mingazova MS, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. The elemental status of carp when biologically active feed additives are introduced into the diet. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2025b;1:75-84. (*In Russ.*)]. doi: 10.24143/2073-5529-2025-1-75-84
12. Abinaya M, Shanthi S, Palmy J, Al-Ghanim KA, Govindarajan M, Vaseeharan B. Exopolysaccharides-mediated ZnO nanoparticles for the treatment of aquatic diseases in freshwater fish *Oreochromis mossambicus*. Toxics. 2023;11(4):313. doi: 10.3390/toxics11040313
13. Delavari NM, Gharaei A, Mirdar HJ, Davari A, Rastiannasab A. Modulatory effect of dietary copper nanoparticles and vitamin C supplementations on growth performance, hematological and immune parameters, oxidative status, histology, and disease resistance against *Yersinia ruckeri* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish Physiology and Biochemistry. 2022;48:33-51. doi: 10.1007/s10695-021-01036-2
14. Gharaei A, Khajeh M, Khosravanizadeh A, Mirdar J, Fadai R. Fluctuation of biochemical, immunological, and antioxidant biomarkers in the blood of beluga (*Huso huso*) under effect of dietary ZnO and chitosan–ZnO NPs. Fish Physiology and Biochemistry. 2020;46:547-561. doi: 10.1007/s10695-019-00726-2
15. Ghirmai S, Wu H, Axelsson M, Matsuhira T, Sakai H, Undeland I. Exploring how plasma- and muscle-related parameters affect trout hemolysis as a route to prevent hemoglobin-mediated lipid oxidation of fish muscle. Scientific Reports. 2022;12(1):13446. doi: 10.1038/s41598-022-16363-4
16. Hatab MH, Rashad E, Saleh HM, El-Sayed E-S, Abu Taleb AM. Effects of dietary supplementation of myco-fabricated zinc oxide nanoparticles on performance, histological changes, and tissues Zn concentration in broiler chicks. Scientific Reports. 2022;12(1):18791. doi: 10.1038/s41598-022-22836-3
17. Hussain SM, Naeem E, Ali S, Adrees M, Riaz D, Paray BA, Naeem A. Evaluation of growth, nutrient absorption, body composition and blood indices under dietary exposure of iron oxide nanoparticles in Common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2024;108(2):366-373. doi: 10.1111/jpn.13898
18. Liang Q, Yuan M, Xu L, Lio E, Zhang F, Mou H, Secundo F. Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. Marine Life Science & Technology. 2022;4(2):208-221. doi: 10.1007/s42995-022-00128-z
19. Maulu S, Hasimuna OJ, Haambiya LH, Monde C, Musuka CG, Makorwa TH, Munganga BP, Phiri KJ, Nsekanabo JD. Climate change effects on aquaculture production: Sustainability implications, mitigation, and adaptations. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021;5:609097. doi: 10.3389/fsufs.2021.609097
20. Nabi N, Ahmed I, Wani GB. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. Saudi Journal of Biological Sciences. 2022;29(4):2942-2957. doi: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
21. Naguib M, Mahmoud UM, Mekkawy IA, Sayed AEH. Hepatotoxic effects of silver nanoparticles on *Clarias gariepinus*; Biochemical, histopathological, and histochemical studies. Toxicology Reports. 2020;7:133-141. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.01.002
22. Rahman M, Paul SI, Rahman A, Haque S, Ador AA, Foysal J, Islam T, Rahman M. Suppression of streptococcosis and modulation of the gut bacteriome in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the marine sediment bacteria *Bacillus haynesii* and *Advenella mimigardefordensis*. Microbiology Spectrum. 2022;10(6):e0254222. doi: 10.1128/spectrum.02542-22

23. Rolić T, Yazdani M, Mandić S, Distant S. Iron metabolism, calcium, magnesium and trace elements: a review. *Biological Trace Element Research*. 2025;203(4):2216-2225. doi: 10.1007/s12011-024-04289-z
24. Silva VF, Mouriño JLP, Martins ML, Carvalho PLPF, Rodrigues ED, Gatlin 3rd DM, Griffin MJ, Older CE, Yamamoto FY. Dietary supplementation of mineral nanoparticles for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 2024;50(6):2225-2236. doi: 10.1007/s10695-024-01378-7
25. Subaramaniyam U, Allimuthu RS, Vappu S, Ramalingam D, Balan R, Paital B, Panda N, Rath PK, Ramalingam N, Sahoo DK. Effects of microplastics, pesticides and nano-materials on fish health, oxidative stress and antioxidant defense mechanism. *Frontiers in Physiology*. 2023;14:1217666. doi: 10.3389/fphys.2023.1217666
26. Ullah M, Yousafzai AM, Muhammad I, Ullah SA, Zahid M, Khan MI, Khan K, Khayyam, Nayab GE, Aschner M, Alsharif KF, Alzahrani KJ, Khan H. Effect of cypermethrin on blood hematology and biochemical parameters in fresh water fish *Ctenopharyngodon idella* (Grass Carp). *Cell and Molecular Biology*. 2022;68(10-10):15-20. doi: 10.14715/cmb/2022.68.10.3
27. Yaquab A, Nasir M, Kamran M, Majeed I, Arif A. Immunomodulation, fish health and resistance to staphylococcus aureus of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diet supplemented with zinc oxide nanoparticles and zinc acetate. *Biological Trace Element Research*. 2023;201(10):4912-4925. doi: 10.1007/s12011-023-03571-w
28. Zhang L, Liu Z, Deng Y, He C, Liu W, Li X. The benefits of nanosized magnesium oxide in fish *Megalobrama amblycephala*: evidence in growth performance, redox defense, glucose metabolism, and magnesium homeostasis. *Antioxidants (Basel)*. 2023;12(7):1350. doi: 10.3390/antiox12071350

References

1. Karpenko LYu, Polistovskaya PA, Enochashvili AI, Balykina AB. Analysis of the influence of copper on carbohydrate metabolism in carp. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2020;2:162-165. doi: 10.17238/issn2072-2419.2020.2.162
2. Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. The effect of biologically active feed additives in the diet on the hematological parameters of fish. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):158-174. doi: 10.33284/2658-3135-108-1-158
3. Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV, Mingazova MS. The effect of Cu-C nanocomposite on hematological parameters of carp. *Bulletin of KSAU*. 2025a;3:140-148. doi: 10.36718/1819-4036-2025-3-140-148
4. Nikiforov NDL, Kochetkov NI, Dzhavakhiya VV, Glagoleva EV, Ginayatov NS, Nikiforov-Nikishin AL, Kartashov MI, Uvaïdov MM. Influence of the probiotic preparation "Aquasporin" on fish-breeding-biological, physiological and histological indicators of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Bulletin of the Kerch State Marine Technological University*. 2024;3:20-32.
5. Gurnak EE, Nalivayko MN. Role of fisheries sector in food security. *Bulletin of Rostov State University of Economics (RINH)*. 2022;4:33-38. doi: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2023.80.4.005
6. 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. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-18
7. Makoedov AN, Matishov GG, Ponomareva EN. World trends in the use of aquatic biological resources. *Vestnik of Russian Academy of Science*. 2023;93(2):179-190. doi: 10.31857/S086958732301005X
8. Lyubomirova VN, Romanova EM, Romanov VV, Lyubomirova ES. Efficiency parameters of the feed additive "Pravud" in rearing Russian sturgeon in industrial aquaculture. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2024;4(68):145-150. doi: 10.18286/1816-4501-2024-4-145-150

9. Seregin SN, Gasanova KhN, Karavaeva MS, Tazetdinov RR. Development of aquaculture: world trends and possibilities of Russian production. *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2023;2(96):113-125. doi: 10.33938/232-113
10. FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome, FAO. doi: 10.4060/ca9229ru
11. Miroshnikova EP, Mingazova MS, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. The elemental status of carp when biologically active feed additives are introduced into the diet. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2025b;1:75-84. doi: 10.24143/2073-5529-2025-1-75-84
12. Abinaya M, Shanthi S, Palmy J, Al-Ghanim KA, Govindarajan M, Vaseeharan B. Exopolysaccharides-mediated ZnO nanoparticles for the treatment of aquatic diseases in freshwater fish *Oreochromis mossambicus*. *Toxics*. 2023;11(4):313. doi: 10.3390/toxics11040313
13. Delavari NM, Gharaei A, Mirdar HJ, Davari A, Rastiannasab A. Modulatory effect of dietary copper nanoparticles and vitamin C supplementations on growth performance, hematological and immune parameters, oxidative status, histology, and disease resistance against *Yersinia ruckeri* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 2022;48:33-51. doi: 10.1007/s10695-021-01036-2
14. Gharaei A, Khajeh M, Khosravanizadeh A, Mirdar J, Fadai R. Fluctuation of biochemical, immunological, and antioxidant biomarkers in the blood of beluga (*Huso huso*) under effect of dietary ZnO and chitosan–ZnO NPs. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2020;46:547-561. doi: 10.1007/s10695-019-00726-2
15. Ghirmai S, Wu H, Axelsson M, Matsuhira T, Sakai H, Undeland I. Exploring how plasma- and muscle-related parameters affect trout hemolysis as a route to prevent hemoglobin-mediated lipid oxidation of fish muscle. *Scientific Reports*. 2022;12(1):13446. doi: 10.1038/s41598-022-16363-4
16. Hatab MH, Rashad E, Saleh HM, El-Sayed E-S, Abu Taleb AM. Effects of dietary supplementation of myco-fabricated zinc oxide nanoparticles on performance, histological changes, and tissues Zn concentration in broiler chicks. *Scientific Reports*. 2022;12(1):18791. doi: 10.1038/s41598-022-22836-3
17. Hussain SM, Naeem E, Ali S, Adrees M, Riaz D, Paray BA, Naeem A. Evaluation of growth, nutrient absorption, body composition and blood indices under dietary exposure of iron oxide nanoparticles in Common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2024;108(2):366-373. doi: 10.1111/jpn.13898
18. Liang Q, Yuan M, Xu L, Lio E, Zhang F, Mou H, Secundo F. Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. *Marine Life Science & Technology*. 2022;4(2):208-221. doi: 10.1007/s42995-022-00128-z
19. Maulu S, Hasimuna OJ, Haambiya LH, Monde C, Musuka CG, Makorwa TH, Munganga BP, Phiri KJ, Nsekanabo JD. Climate change effects on aquaculture production: Sustainability implications, mitigation, and adaptations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021;5:609097. doi: 10.3389/fsufs.2021.609097
20. Nabi N, Ahmed I, Wani GB. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2022;29(4):2942-2957. doi: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
21. Naguib M, Mahmoud UM, Mekkawy IA, Sayed AEH. Hepatotoxic effects of silver nanoparticles on *Clarias gariepinus*; Biochemical, histopathological, and histochemical studies. *Toxicology Reports*. 2020;7:133-141. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.01.002
22. Rahman M, Paul SI, Rahman A, Haque S, Ador AA, Foysal J, Islam T, Rahman M. Suppression of streptococcosis and modulation of the gut bacteriome in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the marine sediment bacteria *Bacillus haynesii* and *Advenella mimigardefordensis*. *Microbiology Spectrum*. 2022;10(6):e0254222. doi: 10.1128/spectrum.02542-22
23. Rolić T, Yazdani M, Mandić S, Distant S. Iron metabolism, calcium, magnesium and trace elements: a review. *Biological Trace Element Research*. 2025;203(4):2216-2225. doi: 10.1007/s12011-024-04289-z
24. Silva VF, Mouriño JLP, Martins ML, Carvalho PLPF, Rodrigues ED, Gatlin 3rd DM, Griffin MJ, Older CE, Yamamoto FY. Dietary supplementation of mineral nanoparticles for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 2024;50(6):2225-2236. doi: 10.1007/s10695-024-01378-7

25. Subaramaniyam U, Allimuthu RS, Vappu S, Ramalingam D, Balan R, Paital B, Panda N, Rath PK, Ramalingam N, Sahoo DK. Effects of microplastics, pesticides and nano-materials on fish health, oxidative stress and antioxidant defense mechanism. *Frontiers in Physiology*. 2023;14:1217666. doi: 10.3389/fphys.2023.1217666

26. Ullah M, Yousafzai AM, Muhammad I, Ullah SA, Zahid M, Khan MI, Khan K, Khayyam, Nayab GE, Aschner M, Alsharif KF, Alzahrani KJ, Khan H. Effect of cypermethrin on blood hematology and biochemical parameters in fresh water fish *Ctenopharyngodon idella* (Grass Carp). *Cell and Molecular Biology*. 2022;68(10-10):15-20. doi: 10.14715/cmb/2022.68.10.3

27. Yaqub A, Nasir M, Kamran M, Majeed I, Arif A. Immunomodulation, fish health and resistance to staphylococcus aureus of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diet supplemented with zinc oxide nanoparticles and zinc acetate. *Biological Trace Element Research*. 2023;201(10):4912-4925. doi: 10.1007/s12011-023-03571-w

28. Zhang L, Liu Z, Deng Y, He C, Liu W, Li X. The benefits of nanosized magnesium oxide in fish *Megalobrama amblycephala*: evidence in growth performance, redox defense, glucose metabolism, and magnesium homeostasis. *Antioxidants (Basel)*. 2023;12(7):1350. doi: 10.3390/antiox12071350

Информация об авторах:

Дмитрий Иванович Буланин, заведующий лабораторией кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13; аспирант 2-го года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-951-030-98-62.

Марина Сергеевна Мингазова, кандидат биологических наук, ассистент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, 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.

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

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

Information about the authors:

Dmitry I Bulanin, Head of the laboratory of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018; Postgraduate student of 1 year of study, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-951-030-98-62.

Marina S Mingazova, Cand. Sci. (Biology), Lecturer of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, 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.

Yulia V Kilyakova, Cand. Sci. (Biology), Docent, 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.

Azamat E Arinzhanov, Cand. Sci. (Agriculture), Docent, 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.

Статья поступила в редакцию 05.06.2025; одобрена после рецензирования 01.08.2025; принята к публикации 15.09.2025.

The article was submitted 05.06.2025; approved after reviewing 01.08.2025; accepted for publication 15.09.2025.