

Научная статья/Research Article

УДК 639.3.043.13

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-140-148

Елена Петровна Мирошникова<sup>1</sup>, Азамат Ерсаинович Аринжанов<sup>2</sup>,

Юлия Владимировна Килякова<sup>3</sup>, Марина Сергеевна Мингазова<sup>4</sup>✉

<sup>1,2,3,4</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

<sup>1</sup>elenaakva@rambler.ru

<sup>2</sup>arin.azamat@mail.ru

<sup>3</sup>fish-ka06@mail.ru

<sup>4</sup>ms.mingazova@gmail.com

## ВЛИЯНИЕ НАНОКОМПОЗИТА СИ-С НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАРПА

*Цель исследования – изучить эффективность включения нанокompозита Си-С в рацион карпа. Задачи: исследовать влияние нанокompозита Си-С (40–60 нм) в дозировках 0,8 и 2 мг/кг корма в рационе карпа на морфологический состав крови и биохимический состав сыворотки крови. Исследование было проведено на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета (г. Оренбург). Длительность исследований – 56 сут. Сформированы три группы карпа (*Cyprinus carpio*): контрольная и 2 опытные. Контрольной группе задавали основной рацион (ОР) (корм КРК-110), опытные группы дополнительно к ОР получали нанокompозит Си-С (40–60 нм): I опытная – в дозировке 0,8 мг/кг корма, II опытная – в дозировке 2 мг/кг корма. Нанокompозит Си-С (40–60 нм) представляет собой углеродную матрицу с наночастицами меди. Получен плазменно-дуговой технологией синтеза на углеродной матрице в Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск). Морфологические и биохимические показатели крови исследовали по стандартизованным методикам в Испытательном центре ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург). Биометрический анализ результатов был выполнен в программе Statistica 10.0 (Stat Soft Inc., США) с помощью вариационной статистики по Стьюденту. Статистически значимыми считались различия с  $P \leq 0,05$ . Включение в рацион рыб нанокompозита Си-С в различных дозировках не вызвало изменений в поведении рыб. Применение в рационе нанокompозита Си-С не привело к нарушениям белкового, липидного и энергетического обмена веществ, при этом использование дозировки 0,8 мг/кг корма повысило физиологический стресс. Значимый метаболический эффект был зафиксирован во II опытной группе при дозировке нанокompозита Си-С 2 мг/кг корма. Использование нанокompозитов открывает новые перспективы по разработке современных подходов по управлению метаболизмом объектов аквакультуры.*

**Ключевые слова:** нанокompозиты, аквакультура, карп, гематологические параметры, биохимические показатели крови карпа, наночастицы

**Для цитирования:** Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е., Килякова Ю.В., и др. Влияние нанокompозита Си-С на гематологические показатели карпа // Вестник КрасГАУ. 2025. № 3. С. 140–148. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-140-148.

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-76-10054).

Elena Petrovna Miroshnikova<sup>1</sup>, Azamat Ersainovich Arinzhanov<sup>2</sup>, Yulia Vladimirovna Kilyakova<sup>3</sup>, Marina Sergeevna Mingazova<sup>4</sup>✉

<sup>1,2,3,4</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>1</sup>elenaakva@rambler.ru

<sup>2</sup>arin.azamat@mail.ru

<sup>3</sup>fish-ka06@mail.ru

<sup>4</sup>ms.mingazova@gmail.com

## THE EFFECT OF CU-C NANOCOMPOSITE ON HEMATOLOGICAL PARAMETERS OF CARP

*The aim of the study was to investigate the efficiency of including Cu-C nanocomposite in the carp diet. Objectives: to investigate the effect of Cu-C nanocomposite (40–60 nm) in dosages of 0.8 and 2 mg/kg of feed in the carp diet on the morphological composition of blood and the biochemical composition of blood serum. The study was conducted at the Department of Animal Raw Materials and Aquaculture Biotechnology of the Orenburg State University (Orenburg). The study duration was 56 days. Three groups of carp (*Cyprinus carpio*) were formed: control and 2 experimental. The control group was given the basic diet (BD) (KRK-110 feed), the experimental groups received Cu-C nanocomposite (40–60 nm) in addition to BD: 1 experimental group – at a dosage of 0.8 mg/kg of feed, 2 experimental group – at a dosage of 2 mg/kg of feed. The Cu-C nanocomposite (40–60 nm) is a carbon matrix with copper nanoparticles. It was obtained by plasma-arc synthesis technology on a carbon matrix at the S.S. Kutateladze Institute of Thermophysics of the SB of the RAS (Novosibirsk). Morphological and biochemical parameters of blood were studied using standardized methods at the Test Center of the Collective Use Center of the BST RAS (Orenburg). The biometric analysis of the results was performed in the Statistica 10.0 program (Stat Soft Inc., USA) using Student's variation statistics. Differences with  $P \leq 0.05$  were considered statistically significant. The inclusion of Cu-C nanocomposite in the fish diet in various dosages did not cause changes in the behavior of the fish. The use of Cu-C nanocomposite in the diet did not lead to disturbances in protein, lipid and energy metabolism, while the use of a dosage of 0.8 mg/kg of feed increased physiological stress. A significant metabolic effect was recorded in the II experimental group at a dosage of Cu-C nanocomposite of 2 mg/kg of feed. The use of nanocomposites opens up new prospects for the development of modern approaches to managing the metabolism of aquaculture objects.*

**Keywords:** nanocomposites, aquaculture, carp, hematological parameters, biochemical parameters of carp blood, nanoparticles

**For citation:** Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV, et al. The effect of Cu-C nanocomposite on hematological parameters of carp. *Bulletin of KSAU*. 2025;(3):140-148. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-140-148.

**Acknowledgments:** the work was supported by the Russian Science Foundation (project № 23-76-10054).

**Введение.** Аквакультура является перспективной отраслью сельского хозяйства, объем которой превысил объемы рыболовства. Большое внимание уделяют индустриальной аквакультуре как наиболее выгодной технологии интеграции производства продукции рыбоводства и растениеводства [1, 2]. Тем не менее отрасль имеет ряд проблем, одной из которых является рост заболеваемости среди выращиваемых рыб, а также повышение антибиотикорезистентности за счет неконтролируемого использования антибиотиков на протяжении нес-

кольких десятилетий в качестве лечебных и профилактических препаратов. Учеными выявлено, что ряд биологически активных веществ имеет положительное действие на решение указанных проблем. Так, пробиотические препараты зарекомендовали себя как безопасные и действенные добавки [3].

В то же время идет поиск новых компонентов рациона, которые благоприятно повлияют на организм рыб. Среди перспективных добавок выделяют наночастицы микроэлементов, действие которых направлено на увеличение продук-

тивности и физиологического состояния рыб [4]. Применение нанотехнологий в аквакультуре открывает широкий потенциал в производстве новых компонентов питания. Среди изученных наночастиц в питании рыб хорошо зарекомендовали себя Fe, Se, Cu и Ag. Было установлено положительное действие на организм рыб, в том числе на рост и метаболизм. Наночастицы способны воздействовать на иммунную систему, стимулируя ее работу [5, 6]. Кроме того, результаты исследований [7] указывают на возможность применения наночастиц в кормлении рыб в качестве альтернативы антибиотикам.

В качестве нового компонента питания начали изучать наноконпозиты – это материалы, содержащие не менее 2 компонентов, один из которых имеет размеры в пределах 1–100 нм. Они многофункциональны, имеют широкий спектр физических и химических свойств, актуальны в медицинской сфере в качестве альтернативных противомикробных агентов [8]. Так, наноконпозит хитозан/наноцеллюлоза, обогащенный *Aloe vera*, показал положительные результаты в проведенных исследованиях по изготовлению съедобных пищевых покрытий [9]. При применении наноконпозита хитозан-селен были выявлены антибактериальные свойства в отношении *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* и *Escherichia coli* [10].

В аквакультуре наноконпозиты хитозана активно используются в зарубежной практике, так как обладают благоприятными биологическими свойствами – безопасностью, биосовместимостью, антибактериальной способностью [11]. Ранее ученые описали электрохимическое поведение наноразмерного конпозита Cu-C [12], но данных об использовании наноконпозита Cu-C в питании животных нет.

**Цель исследования** – изучить эффективность включения наноконпозита Cu-C в рацион карпа.

**Задачи:** исследовать морфологический состав крови и биохимический состав сыворотки крови при включении в рацион карпа наноконпозита Cu-C (40–60 нм) в дозировках 0,8 и 2 мг/кг корма.

**Объекты и методы.** Объект исследований – карп ( $25 \pm 1$ ) г (*Cyprinus carpio*). Эксперимент

поставлен на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета (г. Оренбург). Длительность исследований – 56 сут.

Были сформированы три группы подопытных рыб. Контрольная группа на протяжении исследования потребляла основной рацион (ОР) – комбикорм КРК-110 (ОАО «Оренбургский комбикормовый завод»). Опытные группы дополнительно к ОР получали наноконпозит Cu-C в дозировках 0,8 мг/кг корма (I опытная) и 2 мг/кг корма (II опытная).

Наноконпозит Cu-C (40–60 нм) представляет собой углеродную матрицу с наночастицами меди. Получен плазменно-дуговой технологией синтеза на углеродной матрице в Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск).

Морфологические и биохимические показатели крови исследовали по стандартизованным методикам в Испытательном центре ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург).

Биометрический анализ результатов был выполнен в программе Statistica 10.0 (Stat Soft Inc., США) с помощью вариационной статистики по Стьюденту. Статистически значимыми считались различия с  $P \leq 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** При проведении эксперимента нетипичное поведение рыб не зафиксировано. Сохранность в группах составила 100 %. В опытных группах установлено незначительное повышение продуктивности рыб – до 5 %.

Для оценки влияния на организм рыб различных биологически активных добавок применяют исследования гематологических параметров. Биохимические и морфологические показатели способны отразить физиологическое состояние организма и показать влияние рациона на белковый, липидный, углеводный обмен веществ [13]. Гематологические параметры выступают биомаркером при изменении качества водной среды, поскольку они чувствительны к широкому спектру загрязнений окружающей среды [14]. В целях выявления отклонений нами была проведена оценка морфологического состава крови рыб (табл. 1).

**Морфологический состав крови карпа**  
**Morphological composition of carp blood**

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Гемоглобин, г/л	132,1 ± 2,7	155±4,0***	132,7±3,5
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л	0,75 ± 0,045	0,97±0,025*	0,75±0,04
Тромбоциты, 10 <sup>9</sup> /л	15,1 ± 0,8	19,4±1,5*	14,2±1,1*
Гематокрит, %	15,9 ± 1,2	20,3±1,2*	16,5±1,7
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л	117,5 ± 4,1	108,5±3,6*	107,8±3,5*
Средний объем эритроцитов, %	210,1 ± 3,3	215,6±5,8	209,6±4,1
Индекс распределения эритроцитов, %	34,4 ± 1,4	28,5±1,5*	37,4±1,9
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	825,2 ± 18,7	718,3±16,0*	830,3±14,2

Здесь и далее: \* –  $P \leq 0,05$ ; \*\*\* –  $P \leq 0,001$ .

Результаты исследования показали, что включение в рацион карпа нанокompозита Cu-C в дозировке 2 мг/кг корма привело к снижению уровня лейкоцитов (на 8,3 % ( $P \leq 0,05$ )) и тромбоцитов (на 6,0 % ( $P \leq 0,05$ )). Уровень других показателей морфологического состава крови во II опытной не имел статистически значимых различий с контрольными значениями.

В I опытной группе, потреблявшей вместе с рационом нанокompозит Cu-C в дозировке 0,8 мг/кг корма, были получены отличительные результаты. Так, в конце исследования уровень эритроцитов в крови карпа находился в пределах физиологической нормы, достоверные различия были установлены только для I опытной группы и были выше контрольных значений на 29,3 % ( $P \leq 0,05$ ). Подавляющее большинство клеток крови – эритроциты – обеспечивают достаточное поступление кислорода в различные ткани, а также выполняют другие функции организма. Увеличение их количества возможно при повышенной потребности в кислороде и связано со стрессовыми реакциями [15].

В I опытной группе установлено повышение уровня гемоглобина на 17,3 % ( $P \leq 0,05$ ) и гематокрита на 27,7 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно контроля. Данный эффект обусловлен участием меди в метаболизме железа, выработке эритроцитов и синтезе гемоглобина, в результате чего повышается содержание эритроцитов, гемоглобина и гематокрита в крови рыб [16].

И если уровень гемоглобина и гематокрита в I опытной группе увеличился, то уровень лейкоцитов опускался и в I, и во II опытной группе на 7,7 % ( $P \leq 0,05$ ) и 8,3 % ( $P \leq 0,05$ ) соответствен-

но. Стоит указать, что уровень лейкоцитов и гемоглобина выше физиологической нормы во всех группах, в том числе в контрольной. Увеличение лейкоцитов связывают с адаптацией рыб в стрессовых условиях и повышением выработки антител [17]. Также указывается, что повышение гемоглобина и лейкоцитов свидетельствует о хорошем физиологическом состоянии и высоких адаптационных возможностях [15].

Отдельно заслуживает внимание уровень тромбоцитов в крови карпа. Они играют центральную роль во внутренней системе коагуляции из-за адгезионного поведения и способности агрегировать. При включении нанокompозитов Cu-C в дозировке 0,8 мг/кг корма содержание тромбоцитов увеличивалось на 28,5 % ( $P \leq 0,05$ ), при дозировке 2 мг/кг корма – снижалось на 6,0 % ( $P \leq 0,05$ ).

Также для I опытной группы было характерно снижение индекса распределения эритроцитов и средней концентрации гемоглобина в эритроците на 17,2 % ( $P \leq 0,05$ ) и 13,0 % ( $P \leq 0,05$ ) соответственно.

Включение нанокompозитов Cu-C в рацион карпа оказало действие на биохимический состав сыворотки крови рыб (табл. 2). Общее состояние здоровья рыб в первую очередь оценивают по таким показателям, как содержание белка, глюкозы, холестерина и мочевины. Результаты этих анализов характеризуют устойчивость рыб к воздействию различных экологических факторов и их адаптационные возможности [18]. Статистически значимых различий с контролем по содержанию общего белка, холестерина и мочевины в опытных группах не отмечалось.

Биохимический состав сыворотки крови карпа  
Biochemical composition of carp blood serum

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Общий белок, г/л	31,5±1,24	32,3±1,31	32,5±1,48
АСТ, Ед/л	31,9±2,25	33,9±1,91	30,4±2,36
АЛТ, Ед/л	32,5±1,71	36,2±1,6	34,1±1,43
Глюкоза, ммоль/л	8,83±0,06	8,26±0,11*	8,55±0,06*
Мочевая кислота, мкмоль/л	314±12,5	161±14,3***	334±17,0
Альбумин, г/л	23,1±1,1	23,6±1,16	24±1,0
Мочевина, ммоль/л	6,7±0,3	6,6±0,35	6,2±0,45
Креатинин, мкмоль/л	0,73±0,05	0,72±0,05	0,19±0,03***
Билирубин общий, мкмоль/л	12,34±1,58	13,15±1,97	11,02±1,43
Триглицериды, ммоль/л	2,94±0,25	2,84±0,22	2,91±0,17
Холестерин, ммоль/л	1,56±0,21	1,54±0,25	1,57±0,18
Железо, мкмоль/л	22,4±1,4	10,4±0,92***	20,7±1,25
Фосфор, ммоль/л	1,1±0,09	0,98±0,11	1,1±0,1
Кальций, ммоль/л	1,86±0,15	1,71±0,16	1,81±0,13

При проведении исследования было зафиксировано, что в группах, в том числе и в контрольной, уровень глюкозы превышал норму в 2 раза. Это указывает на высокие энергетические запасы организма рыб [19]. Однако при применении нанокompозита Cu-C показатель снижался от 3,2 % ( $P \leq 0,05$ ) во II опытной до 6,5 % ( $P \leq 0,05$ ) в I опытной группе, что может быть вызвано увеличением выброса в кровь гормонов (адреналин, кортизол, катехоламин) на фоне присутствия частиц меди [20].

Глюкоза, уровень которой в сыворотке крови контролируется эндокринной системой, является источником энергии, необходимой для жизнедеятельности рыб, а избыток запасается в виде гликогена в мышцах и печени. Стрессовые факторы, такие как воздействие металлов, вызывают изменения в углеводном обмене, увеличивая высвобождение таких гормонов, как кортизол, адреналин и катехоламин.

Специфичными маркерами токсичности окружающей среды и питания являются показатели аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ). При изменении уровня АЛТ и АСТ в сыворотке крови рыб от нормы возможно ухудшение в работе пищеварения и снижение обмена веществ [21, 22]. По результатам исследования зафиксировано, что уровень ферментов в сыворотке крови рыб не показал существенной разницы при включении нанокompозита

Cu-C в рацион, что подтверждает безопасность нанокompозитов при данных дозировках.

Также достоверно значимое снижение отмечено для уровня таких показателей, как креатинин в I опытной группе и мочевая кислота во II опытной группе. Для II опытной группы установлено снижение креатинина в сравнении с контрольным значением на 74,0 % ( $P \leq 0,001$ ). В то время как повышение креатинина связывают с нарушением цикла энергетического обмена, его снижение показывает противоположную картину [23]. В I опытной группе отмечалось снижение мочевой кислоты на 48,7 % ( $P \leq 0,001$ ).

При анализе результатов минерального состава крови было зафиксировано, что значимые различия установлены только для железа в I опытной группе, где его содержание было ниже на 53,6 % ( $P \leq 0,001$ ). При включении нанокompозита Cu-C во II опытной группе достоверных различий с контролем не отмечено.

**Заключение.** Гематологические параметры являются эффективным средством выявления нарушений в организме рыб. Уровень отдельных показателей способен предоставить важную информацию для диагностики и прогнозирования заболеваний гидробионтов. Например, выявить хронические изменения при физиологическом стрессе, при некачественном кормлении или неблагоприятных условиях содержания, что говорит об их положительном применении в

качестве биомаркера. По результатам исследования включение в рацион карпа нанокompозита Cu-C (40–60 нм) в дозировках 0,8 и 2 мг/кг корма не оказало негативного действия на морфологический и биохимический состав крови. Выявлено, что у подопытных рыб не были нарушены липидный, белковый и энергетический обмены веществ. Использование нанокompозита Cu-C в дозировке 0,8 мг/кг корма приводило к изменению ряда показателей (тромбоцитов, гемоглобина, эритроцитов, глюкозы), что показывало на незначительный физиологический стресс у рыб на фоне приема нанокompозита Cu-C. В то же время использование нанокompозита Cu-C в дозировке 2 мг/кг корма привело к снижению

лейкоцитов, тромбоцитов, глюкозы и значительному понижению креатинина, что указывало на изменение метаболической активности и энергетического обмена. Таким образом, улучшение этих показателей говорит о положительном действии нанокompозита Cu-C в дозировке 2 мг/кг корма на морфологический состав крови и биохимический состав сыворотки крови карпа, а следовательно, это может привести к улучшению роста, повышению иммунитета и эффективности выращивания рыб. Дальнейшее использование нанокompозитов открывает новые перспективы по разработке современных подходов по управлению метаболизмом объектов аквакультуры.

#### Список источников

1. Львов Ю.Б., Шишанов Г.А. Трофический потенциал интегрированных систем на основе индустриальной аквакультуры // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. 2022. № 1. С. 71–78. DOI: 10.24143/2073-5529-2022-1-71-78. EDN: QKZHVR.
2. Заделенова А.В., Заделенов В.А., Четвертакова Е.В., и др. Динамика роста молоди пресноводной формы арктического гольца *Salvelinus alpinus* (L.) в условиях индустриального рыбководного хозяйства // Вестник КрасГАУ. 2023. № 12. С. 230–236. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-230-236. EDN: AUHVXG.
3. Зуева М.С., Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е., и др. Опыт применения новой кормовой добавки в кормлении карпа (*Cyprinus carpio*) // Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 44–49. DOI: 10.28983/asj.y2023i4pp44-49. EDN: PVZQUN.
4. Аринжанова М.С., Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е., и др. Влияние ультрадисперсных частиц цинка и фитобиотической добавки на основе эфирных масел на рост и элементный состав мышечной ткани карпа // Ветеринария и кормление. 2024. № 1. С. 21–23. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-1-3. EDN: PWCVRN.
5. Dar A.H., Rashid N., Majid I., et al. Nanotechnology interventions in aquaculture and seafood preservation // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. Vol. 60, Is. 11. P. 1912–1921. DOI: 10.1080/10408398.2019.1617232. EDN: DJXGWA.
6. Nasr-Eldahan S., Nabil-Adam A., Attia Shreadah M., et al. A review article on nanotechnology in aquaculture sustainability as a novel tool in fish disease control // Aquaculture international: journal of the European Aquaculture Society. 2021. Vol. 29 (4). P. 1459–1480. DOI: 10.1007/s10499-021-00677-7. EDN: RXMMCZ.
7. Okeke E.S., Chukwudozie K.I., Nyaruaba R., et al. Antibiotic resistance in aquaculture and aquatic organism: a review of current nanotechnology application for sustainable management // Environmental Science and Pollution Research International. 2022. Vol. 29 (46). P. 69241–69274. DOI: 10.1007/s11356-022-22319-y. EDN: CKQFWO.
8. Elkady F.M., Hashem A.H., Salem S.S., et al. Unveiling biological activities of biosynthesized starch/silver-selenium nanocomposite using *Cladosporium cladosporioides* CBS 174.62 // BMS Microbiology. 2024. Vol. 24. P. 78. DOI: 10.1186/s12866-024-03228-1. EDN: EQPGSF.
9. Sali A.K., Ravi A.P., Shamsudeen S.P., et al. *Aloe vera* incorporated chitosan/nanocellulose hybrid nanocomposites as potential edible coating material under humid conditions // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2021. Vol. 14 (4). P. 475–497. DOI: 10.17516/1997-1389-0366. EDN: MVYCSA.

10. Abd-Elraoof W.A., Taye A.A., El-Far S.W., et al. Characterization and antimicrobial activity of a chitosan-selenium nanocomposite biosynthesized using *Posidonia oceanica* // RSC Advances. 2023. Vol. 13 (37). P. 26001–26014. DOI: 10.1039/d3ra04288j. EDN: WEDRGI.
11. Ahmed F., Soliman F.M., Adly M.A., et al. Recent progress in biomedical applications of chitosan and its nanocomposites in aquaculture: A review // Research in Veterinary Science. 2019. Vol. 126. P. 68–82. DOI: 10.1016/j.rvsc.2019.08.005.
12. Wang J., Rao M., Ye C., et al. Cu-MOF derived Cu-C nanocomposites towards high performance electrochemical supercapacitors // RSC Advances. 2020. Vol. 10 (8). P. 4621–4629. DOI: 10.1039/C9RA09738D. EDN: LXTETL.
13. Спирина Е.В., Романова Е.М. Цитогенетический гомеостаз и гематологические параметры африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) на фоне использования пробиотика "Споротермин" // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3 (47). С. 94–99. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-94-99. EDN: OWEXMR.
14. Ortiz M., Esteban M.A. Biology and functions of fish thrombocytes: A review // Fish & Shellfish Immunology. 2024. Vol. 148. P. 109509. DOI: 10.1016/j.fsi.2024.109509. EDN: GKUKAS.
15. Никитина А.П., Коснев Н.И. Гематологические показатели рыб после применения биологически активной кормовой добавки // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2018. Т. 233. № 1. С. 113–117. EDN: YTJSBF.
16. Lal S.P., Kaushik S.J. Nutrition and Metabolism of Minerals in Fish // Animals (Basel). 2021. Vol. 11 (9). P. 2711. DOI: 10.3390/ani11092711. EDN: OQBTS.
17. Ashaf-Ud-Doulah M., Mamun Al A., Rahman M.L., et al. High temperature acclimation alters upper thermal limits and growth performance of Indian major carp, rohu, *Labeo rohita* (Hamilton, 1822) // Journal of Thermal Biology. 2020. Vol. 93. P. 102738. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2020.102738. EDN: GZCDLS.
18. Ахметова В.В., Васина С.Б. Оценка морфологической и биохимической картины крови карповых рыб, выращиваемых в ООО "Рыбхоз" Ульяновского района Ульяновской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3 (31). С. 53–58. DOI: 10.18286/1816-4501-2015-3-53-58. EDN: UMIAYZ.
19. Микряков Д.В., Ревякин А.О., Пронина Г.И., и др. Биохимические показатели сыворотки крови краснухостойчивой породы карпа в конце нагульного периода // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2020. № 92 (95). С. 113–119. DOI: 10.47021/0320-3557-2021-113-119. EDN: TRHOPI.
20. Tunçsoy M. Impacts of Metal Nanoparticles on Fish. In: Shanker U., Hussain C.M., Rani M., editors. Handbook of Green and Sustainable Nanotechnology // Springer Nature 2022. P. 8–39. DOI: 10.1007/978-3-031-16101-8\_39.
21. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Референсные значения физиолого-иммунологических показателей гидробионтов разных видов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. 2015. № 4. С. 103–108. EDN: VDPCLR.
22. Иль Е.Н., Заболотных М.В., Иль Д.Е. Выявление тенденций изменения биохимических показателей крови при метаболических нарушениях у высокопродуктивных коров // Вестник КрасГАУ. 2023. № 12. С. 154–161. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-154-161. EDN: TNPXYH.
23. Seibel H., Babmann B., Rebl A. Blood Will Tell: What Hematological Analyses Can Reveal About Fish Welfare // Frontiers in Veterinary Sciences. 2021. Vol. 8. P. 616955. DOI: 10.3389/fvets.2021.616955. EDN: DXQERA.

## References

1. Lvov YuB, Shishanov GA. Trophic potential of integrated systems based on industrial aquaculture. *Vestnik of astrakhan state technical university. Series: fishing industry*. 2022;(1):71-78. DOI: 10.24143/2073-5529-2022-1-71-78. EDN: QKZHVR.

2. Zadelenova AV, Zadelenov VA, Chetvertakova EV., et al. Growth dynamics of juvenile freshwater form of Arctic char *Salvelinus alpinus* (L.) in the conditions of industrial fish farming. *Bulletin of KSAU*. 2023;(12):230-236. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-230-236. EDN: AUHVXG.
3. Zueva MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, et al. Experience of application of a new feed additive in carp feeding (*Cyprinus carpio*). *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;(4):44-49. DOI: 10.28983/asj.y2023i4pp44-49. EDN: PVZQUN.
4. Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, et al. The influence of ultrafine zinc particles and phytobiotic supplement based on essential oils on the growth and elemental composition of carp muscle tissue. *Veterinariya i kormlenie*. 2024;(1):21-23. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-1-3. EDN: PWCVRN.
5. Dar AH, Rashid N, Majid I, et al. Nanotechnology interventions in aquaculture and seafood preservation. *Food Science and Nutrition*. 2020;60(Iss. 11):1912-1921. DOI: 10.1080/10408398.2019.1617232. EDN: DJXGWA.
6. Nasr-Eldahan S, Nabil-Adam A, Attia Shreadah M, et al. A review article on nanotechnology in aquaculture sustainability as a novel tool in fish disease control. *Aquaculture international: journal of the European Aquaculture Society*. 2021;29(4):1459-1480. DOI: 10.1007/s10499-021-00677-7. EDN: RXMMCZ.
7. Okeke ES, Chukwudozie KI, Nyaruaba R, et al. Antibiotic resistance in aquaculture and aquatic organism: a review of current nanotechnology application for sustainable management. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2022;29:69241-69274. DOI: 10.1007/s11356-022-22319-y. EDN: CKQFWO.
8. Elkady FM, Hashem AH, Salem SS, et al. Unveiling biological activities of biosynthesized starch/silver-selenium nanocomposite using *Cladosporium cladosporioides* CBS 174.62. *BMS Microbiology*. 2024;24:78. DOI: 10.1186/s12866-024-03228-1. EDN: EQPGSF.
9. Sali AK, Ravi AP, Shamsudeen SP, et al. *Aloe vera* incorporated chitosan/nanocellulose hybrid nanocomposites as potential edible coating material under humid conditions. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2021;14(4):475-497. DOI: 10.17516/1997-1389-0366. EDN: MVYCX A.
10. Abd-Elraoof WA, Taye AA, El-Far SW, et al. Characterization and antimicrobial activity of a chitosan-selenium nanocomposite biosynthesized using *Posidonia oceanic*. *RSC Advances*. 2023;13:26001-26014. DOI: 10.1039/d3ra04288j. EDN: WEDRGI.
11. Ahmed F, Soliman FM, Adly MA, et al. Recent progress in biomedical applications of chitosan and its nanocomposites in aquaculture: A review. *Research in Veterinary Science*. 2019;126:68-82. DOI: 10.1016/j.rvsc.2019.08.005.
12. Wang J, Rao M, Ye C, et al. Cu-MOF derived Cu-C nanocomposites towards high performance electrochemical supercapacitors. *RSC Advances*. 2020;10:4621-4629. DOI: 10.1039/C9RA09738D. EDN: LXTETL.
13. Spirina EV, Romanova EM. Cytogenetic homeostasis and hematological parameters of african sharptooth catfish (*Clarias Gariepinus*) in case of application of sporotermin probiotic. *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. 2019;(3):94-99. (In Russ.). DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-94-99. EDN: OWEXMR.
14. Ortiz M, Esteban MA. Biology and functions of fish thrombocytes: A review. *Fish & Shellfish Immunology*. 2024;148:109509. DOI: 10.1016/j.fsi.2024.109509. EDN: GKUKAS.
15. Nikitina AP, Kosyaev NI. Hematological parameters of fish after applying biologically active feed additive. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.E. Baumana*. 2018;233(1):113-117. (In Russ.). EDN: YTJSBF.
16. Lal SP, Kaushik SJ. Nutrition and Metabolism of Minerals in Fish. *Animals (Basel)*. 2021;11(9):2711. DOI: 10.3390/ani11092711. EDN: OOQBTS.
17. Ashaf-Ud-Doulah M, Mamun AI A, Rahman ML, et al. High temperature acclimation alters upper thermal limits and growth performance of Indian major carp, rohu, *Labeo rohita* (Hamilton, 1822). *Journal of Thermal Biology*. 2020;93:102738. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2020.102738. EDN: GZCDLS.
18. Akhmetova VV, Vasina SB. Assessment of morphological and biochemical blood picture of carps grown in LLC "Fish farm" in Ulyanovsk District of Ulyanovsk Region. *Vestnik Ul'yanovskoj*



- gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. 2015;(3):53-58. (In Russ.). DOI: 10.18286/1816-4501-2015-3-53-58. EDN: UMIAYZ.
19. Mikryakov DV, Revyakin AO, Pronina GI, et al. Biochemical indices of blood serum of rubella-resistant carp breed at the end of the feeding period. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2020;(92):113-119. (In Russ.). DOI: 10.47021/0320-3557-2021-113-119. EDN: TRHOPI.
  20. Tunçsoy M. Impacts of Metal Nanoparticles on Fish. In: Shanker U, Hussain CM, Rani M, editors. *Handbook of Green and Sustainable Nanotechnology*. Springer Nature, 2022. P. 8–39. DOI: 10.1007/978-3-031-16101-8\_39.
  21. Pronina GI, Koryagina NYu. Reference values of physiological and immunological indicators of hydrobionts of different species. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo*. 2015;(4):103-108. (In Russ.). EDN: VDPCLR.
  22. Il EN, Zabolotnykh MV, Il DE. Identifying trends of changes in biochemical indicators of blood during metabolic disorders in highly productive cows. *Bulletin of KSAU*. 2023;(12):154-161. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-154-161. EDN: TNPXYH.
  23. Seibel H, Babmann B, Rebl A. Blood Will Tell: What Hematological Analyses Can Reveal About Fish Welfare. *Frontiers in Veterinary Sciences*. 2021;8:616955. DOI: 10.3389/fvets.2021.616955. EDN: DXQERA.

Статья принята к публикации 30.10.2024 / The article accepted for publication 30.10.2024.

Информация об авторах:

**Елена Петровна Мирошникова**<sup>1</sup>, заведующая кафедрой биотехнологий животного сырья и аквакультур, доктор биологических наук, профессор

**Азамат Ерсайнович Аринжанов**<sup>2</sup>, доцент кафедры биотехнологий животного сырья и аквакультур, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

**Юлия Владимировна Киякова**<sup>3</sup>, доцент кафедры биотехнологий животного сырья и аквакультур, кандидат биологических наук, доцент

**Марина Сергеевна Мингазова**<sup>4</sup>, аспирант, ассистент кафедры биотехнологий животного сырья и аквакультур

Information about the authors:

**Elena Petrovna Miroshnikova**<sup>1</sup>, Head of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Doctor of Biological Sciences, Professor

**Azamat Ersainovich Arinzhanov**<sup>2</sup>, Associate Professor at the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Candidate of Agricultural Sciences, Docent

**Yulia Vladimirovna Kilyakova**<sup>3</sup>, Associate Professor at the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Candidate of Biological Sciences, Docent

**Marina Sergeevna Mingazova**<sup>4</sup>, Postgraduate student, Assistant at the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture

