

Оригинальная научная статья

УДК 597.554.3:639.33

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-02>



Гематологическая характеристика сиговых рыб в аквариальных условиях

Галина Иозеповна Пронина¹, Дат Ван Чан¹, Илья Владимирович Морозов¹,
Дмитрий Владимирович Артеменков²

¹ Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Галина Иозеповна Пронина,
gidrobiont4@yandex.ru

Аннотация

Для оценки состояния здоровья и иммунного статуса рыб в аквакультуре важно изучить картину крови и определить референтные значения гематологических показателей. Исследования сиговых рыб в этом отношении являются недостаточными, в связи с чем целью настоящей работы являлась сравнительная гематологическая характеристика разных видов сиговых рыб. В статье представлены результаты исследования гематологических показателей у трех видов сиговых рыб: сига-пыжьяна (*Coregonus lavaretus*), муксуна (*Coregonus muksun*) и чира (*Coregonus nasus*) со средней массой тела от 30.5 до 37.1 г. Результаты показали, что содержание гемоглобина варьировало от 8.75 до 9.40 мг%, количество эритроцитов составляло от 0.53 до 0.84×10¹²/л. У всех трех исследованных видов сиговых рыб в эритрограмме преобладали зрелые эритроциты (>90%). В лейкоцитарной формуле доминировали лимфоциты, при этом эозинофилы не были обнаружены ни в одной из трех групп сиговых рыб. Имелись видовые различия. По числу эритроцитов сиг имеет наименьшее значение показателя, что связано с адаптацией к большим глубинам обитания. Доля незрелых форм эритроидного ряда была достоверно выше у муксуна, чем у сига и чира. Процент лимфоцитов в лейкоцитарной формуле у этого вида составил 77.4% по сравнению с уровнем 92.5 и 92.4% у двух других видов сиговых рыб. У муксуна в отличие от сига и чира значительно выше доля палочкоядерных нейтрофилов, которая составила 5.2% (по сравнению с 1.0% у сига и 0.3% у чира), и доля сегментоядерных нейтрофилов – 6.1% (по сравнению с 1.9% у сига и 0.4% у чира), а также моноцитов – на 75% (в четыре раза) и 56% (более чем в два раза) соответственно.

Ключевые слова

лейкограмма, клетки крови, сиговые рыбы, сиг, муксун, чир, гематологические показатели

Для цитирования

Пронина Г.И., Чан В.Д., Морозов И.В., Артеменков Д.В. Гематологическая характеристика сиговых рыб. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):402. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-02>



Hematological characteristics of whitefish under aquarium conditions

Galina I. Pronina¹, Dat V. Tran¹, Ilia V. Morozov¹, Dmitriy V. Artemenkov²

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russia

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

Corresponding author: Galina I. Pronina, gidrobiont4@yandex.ru

Abstract

To assess the health status and immune status of fish in aquaculture, it is important to study blood profiles and establish reference values for hematological parameters. Research on whitefish in this regard remains insufficient. Thus, the aim of the present study was to provide a comparative hematological characterization of different whitefish species. This article presents the results of a study on hematological parameters in three species of whitefish: Siberian whitefish (*Coregonus pidschian*), muksun (*Coregonus muksun*), and broad whitefish (*Coregonus nasus*), with average body weights ranging from 30.5 to 37.1 g. The results showed that hemoglobin content varied from 8.75 to 9.40 mg%, and the erythrocyte count ranged from 0.53 to $0.84 \times 10^{12}/L$. In all three whitefish species studied, mature erythrocytes predominated in the erythrogram (>90%). The leukocyte formula was dominated by lymphocytes, while eosinophils were not detected in any of the three whitefish groups. Species-specific differences were observed. The Siberian whitefish exhibited the lowest erythrocyte count, which is associated with its adaptation to greater depths. The proportion of immature erythroid cells was significantly higher in muksun than in Siberian whitefish and broad whitefish. The percentage of lymphocytes in the leukocyte formula was 77.4% in muksun, compared to 92.5% and 92.4% in the other two species. Unlike Siberian whitefish and broad whitefish, muksun had a significantly higher proportion of band neutrophils (5.2%, compared to 1.0% in Siberian whitefish and 0.3% in broad whitefish), segmented neutrophils (6.1%, compared to 1.9% in Siberian whitefish and 0.4% in broad whitefish), and monocytes (75% and 56% higher, i.e., fourfold and more than twofold, respectively).

Keywords

Leukogram, blood cells, whitefish, Siberian whitefish, muksun, broad whitefish, hematological parameters

For citation

Pronina G.I., Tran V.D., Morozov I.V., Artemenkov D.V. Hematological characteristics of whitefish under aquarium conditions. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):402. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-02

Введение

Introduction

Сиговые (семейство Coregonidae) – это группа экономически ценных рыб, включающая в себя такие важные эксплуатируемые виды, как сиг обыкновенный *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758), муксун *C. muksun* (Pallas, 1814) и чир *C. nasus* (Pallas, 1776). Однако в настоящее время их популяции находятся под угрозой сокращения, а также возникают значительные трудности при их искусственном разведении. Согласно исследованиям Быкова и др. (2024) за последние полвека улов ценных видов – таких, как осетр, лосось и сиг, значительно сократился [1]. Поэтому оценка биологических и физиологических характеристик этой группы рыб имеет большое значение в их аквакультуре и в искусственном разведении.

Гематологические показатели рассматриваются как чувствительный инструмент для оценки

физиологических изменений, адаптационных возможностей и нарушений у рыб под воздействием факторов среды [2]. В своем исследовании Gashkina et al. (2022) использовали биологический ответ сиговых в качестве биомаркера для оценки чувствительности к загрязнению в районе озера Большая Имандра [3]. Кроме того, Заботкина и Середняков (2020) зафиксировали сезонную изменчивость гематологических показателей и появление морфологических аномалий эритроцитов как биологических индикаторов качества воды [4].

Цель исследований: сравнительная гематологическая характеристика разных видов сиговых рыб.

Методика исследований

Research method

Объектом исследований являются три группы сиговых видов рыб: сиг-пыжьян (*C. pidschian*), муксун (*C. muksun*) и чир (*C. nasus*) со средней

массой тела 30.5 ± 2.6 ; 37.1 ± 4.6 и 32.3 ± 4.9 г соответственно, содержащиеся в 400-литровых аквариумах при температуре воды $+5-6^{\circ}\text{C}$. Рыбы содержались в аквариальных условиях. Использовались 400-литровые аквариумы с принудительной аэрацией и фильтрацией погружными фильтрами. Кормление рыб осуществлялось комбикормом для сиговых рыб с содержанием 50% белка и 17% жира. Суточная норма кормления составляла 2% от массы рыбы.

Для анализа гематологических показателей отбор крови в ходе эксперимента осуществлялся прижизненно (по 5 особей из каждой группы рыб). Для забора крови использовали шприцы с инъекционными иглами, предварительно обработанными антикоагулянтом – раствором 0.2%-ного гепарина. Место пункции – хвостовая вена у исследуемых рыб.

После забора крови уровень гемоглобина измеряли методом Сали. Этот метод предполагает реакцию соляной кислоты с гемоглобином с образованием солянокислого гематина и последующее визуальное определение количества гемоглобина путем сопоставления и сравнения цвета исследуемого образца со стандартными растворами, которые находятся в двух боковых камерах гемометра [5].

Количество эритроцитов и лейкоцитов определяли на мазках крови, окрашенных по Паппенгейму, с помощью микроскопа МИКРОМЕД при увеличении 10×100 , оснащенного камерой (Tour-Sam 9.0 MP, Китай), подключенной к компьютеру с программным обеспечением TourView.

Статистическая обработка цифрового материала производилась по Стьюденту с помощью программы Excel. Проверка на нормальность распределения проводилась по критерию Манна-Уитни. Результаты представлены в виде средней арифметической $\pm$ стандартная ошибка средней ($M \pm m$). Достоверными считались различия при $p \leq 0.05$.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Результаты исследований показали, что по количеству гемоглобина рыбы изучаемых видов достоверно не различались. Концентрация гемоглобина у трех групп рыб колебалась от 8.75 до 9.40 мг% (табл. 1).

Наименьшее число эритроцитов отмечено у сига. Вероятно, эта видовая особенность связана с адаптацией к обитанию на более низких глубинах, где выше давление и ниже температура. У рыб снижается вязкость крови, что облегчает работу сердца и обеспечивает эффективное снабжение тканей кислородом, растворенным в холодной воде [6]. Сиг, муксун и чир являются холодолюбивыми представителями сиговых, предпочитающими чистую воду и значительные глубины. Сиг часто держится на глубинах более 50 м (в озерах), муксун – на глубинах 8-20 м, чир часто встречается в реках и проточных озерах [7, 8].

Микроскопическая картина крови изучаемых сиговых рыб представлена на рисунке 1.

Морфологическая картина крови сиговых рыб показала, что бластные формы эритроцитов

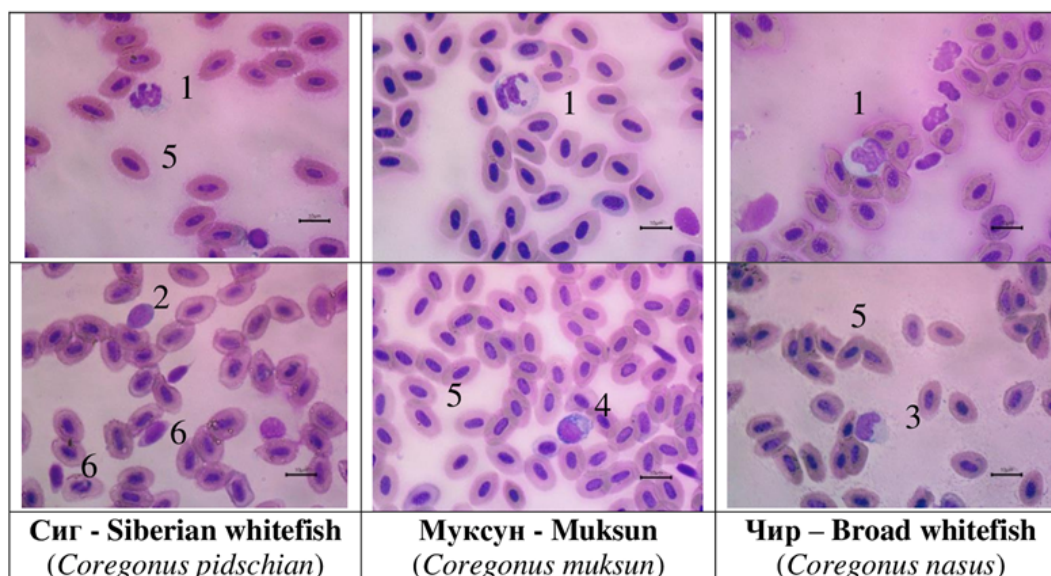


Рисунок 1. Картина крови рыб. 1 – сегментоядерный нейтрофил, 2 – лимфоцит, 3 – моноцит, 4 – промиелоцит, 5 – зрелые эритроциты, 6 – тромбоцит.

Figure 1. Fish blood smear. 1 – segmented neutrophil, 2 – lymphocyte, 3 – monocyte, 4 – promyelocyte, 5 – erythrocytes, 6 – thrombocyte.

Таблица 1. Гематологические показатели у сиговых рыб.

Table 1. Hematological parameters in whitefishes.

Показатели <i>Indicators</i>	Вид <i>Species</i>		
	сиг <i>Siberian whitefish</i>	муксун <i>muksun</i>	чир <i>broad whitefish</i>
	a	b	c
Гемоглобин, мг% <i>Hemoglobin, mg%</i>	9.35 ± 0.35	8.75 ± 0.75	9.40 ± 0.80
Число эритроцитов, шт×10 ¹² /л <i>Red blood cells, pcs×10¹²/л</i>	0.53 ± 0.07	0.77 ± 0.08 ^a	0.84 ± 0.07 ^a
Эритрограмма <i>Erythrogram</i>			
Эритробласты <i>Erythroblasts</i>	0	0.5 ± 0.2	0
Базофильные нормобласты <i>Basophilic normoblasts</i>	0.4 ± 0.1	1.2 ± 0.5	5.2 ± 0.7 ^{ab}
Полихроматофильные нормобласты <i>Polychromatophilic normoblasts</i>	2.5 ± 0.2	5.1 ± 0.4	1.9 ± 0.2
Зрелые эритроциты <i>Erythrocytes</i>	97.1 ± 1.8	93.2 ± 2.2	92.9 ± 1.3
Лейкоцитарная формула <i>Differential blood count</i>			
Миелобласты <i>Myeloblasts</i>	0.8 ± 0.4	1.1 ± 0.5	0.9 ± 0.3
Промиелоциты <i>Promyelocytes</i>	0.2 ± 0.1	1.2 ± 0.3 ^a	1.3 ± 0.4 ^a
Миелоциты <i>Myelocytes</i>	1.4 ± 0.4	0.9 ± 0.3	1.1 ± 0.4
Метамиелоциты <i>Metamyelocytes</i>	0.3 ± 0.2	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.2
Палочкоядерные нейтрофилы <i>Band neutrophils</i>	1.0 ± 0.3	5.2 ± 0.6 ^a	0.3 ± 0.2 ^b
Сегментоядерные нейтрофилы <i>Segmented neutrophils</i>	1.9 ± 0.4	6.1 ± 0.7 ^a	0.4 ± 0.2 ^{ab}
Эозинофилы <i>Eosinophils</i>	0	0	0

Показатели <i>Indicators</i>	Вид <i>Species</i>		
	сиг <i>Siberian whitefish</i>	муксун <i>muksun</i>	чир <i>broad whitefish</i>
	a	b	c
Базофилы <i>Basophils</i>	0	0.5 ± 0.2	0.2 ± 0.1
Моноциты <i>Monocytes</i>	1.9 ± 0.4	7.5 ± 1.3 ^a	3.3 ± 0.8 ^b
Лимфоциты <i>Lymphocytes</i>	92.5 ± 1.4	77.4 ± 1.7 ^a	92.4 ± 2.8 ^b

Примечание. Буква (a, b, c) указывает на группу, в сравнении с которой были обнаружены статистически значимые различия.

Note. The letter (a, b, c) indicates the group with which statistically significant differences were found.

представлены эритроблантами округлой формы с крупным ядром, расположенным в центре, занимающим большую часть клетки и обычно окрашивающимся в розовато-фиолетовый цвет при окраске. Базофильные нормобласты характеризуются округлым ядром, меньшими размерами клетки по сравнению с эритроблантами и цитоплазмой серовато-голубоватого цвета. Зрелые эритроциты у всех изученных видов сиговых рыб имеют овальную форму. Их ядро вытянуто, располагается центрально и окрашивается в фиолетовый или розово-фиолетовый цвет при использовании метода окрашивания Паппенгейма.

Основной долей в лейкограмме рыб являются лимфоциты – округлые или сферические клетки с крупным ядром, занимающим большую часть клетки, и узким ободком базофильной цитоплазмы, окрашивающейся в синий цвет. Незрелые формы миелоидного ряда: миелобласты, промиелоциты, миелоциты – составляют небольшой процент. Морфологические различия в основном заключаются в уменьшении ядерно-цитоплазменного отношения по мере созревания клеток. Палочкоядерные нейтрофилы имеют ядро в виде изогнутой палочки или подковы без деления на сегменты. Ядро сегментоядерных нейтрофилов состоит из 2-3 долей, соединенных тонкими перемычками. Моноциты представляют собой клетки с крупным ядром бобовидной или подковообразной формы, которое обычно расположено эксцентрично; цитоплазма окрашивается в голубовато-синий цвет.

В эритрограмме всех изучаемых сиговых рыб присутствует более 90% зрелых эритроцитов. У муксуна имеются бластные клетки эритроидного ряда. Доля базофильных нормобластов в эритрограмме

чир достоверно более высокая по сравнению с другими изучаемыми видами.

У муксуна в лейкограмме наблюдается большая доля сегментоядерных нейтрофилов и моноцитов (врожденная клеточная защита – фагоцитарная активность) за счет лимфоцитов, которые отвечают за приобретенный иммунитет.

Эозинофилы отсутствуют у всех изучаемых сиговых рыб. У чира и муксуна присутствует небольшой процент базофилов.

Все показатели не выходили за рамки физиологической нормы для рыб [9].

Выводы

Conclusions

Таким образом, три вида сиговых рыб (*C. pidschian*, *C. muksun*, *C. nasus*), выращиваемых в бассейнах, демонстрируют сходные гематологические показатели. Однако имеются видовые различия. Наименьшее число эритроцитов отмечено у сига пыжьяна. В эритрограмме муксуна имеется в среднем 0.5% эритробластов. В крови чира – большая доля базофильных нормобластов.

Лейкоцитарная формула показывает, что лимфоциты составляют самую высокую долю, при этом присутствие эозинофилов не зарегистрировано ни у одной из трех групп рыб в данных исследованиях. Лейкограмма муксуна содержит больший процент фагоцитов: моноцитов и сегментоядерных нейтрофилов – соответственно при снижении доли лимфоцитов. Эти данные могут быть использованы в качестве референтных значений гематологии сиговых рыб.

Список источников

1. Быков А.Д., Бражник С.Ю., Боркичев В.С. Динамика промышленного вылова рыбы во внутренних водоёмах России за 2014–2023 гг. *Труды ВНИРО*. 2024;196(2):74–106. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2024-196-74-106>
2. Witeska M., Kondera E., Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology – a review. *Animals*. 2023;13(16):2625. <https://doi.org/10.3390/ani13162625>
3. Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Shuman L.A., Koroleva I.M. Biological responses of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) to reduced toxic impact: Metal accumulation, haematological, immunological, and histopathological alterations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022;239:113659. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113659>
4. Заботкина Е.А., Середняков В.Е. Сезонная динамика некоторых показателей крови переславской ряпушки (*Coregonus albula*). *Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН*. 2020;(90(93)):91–96. <https://doi.org/10.24411/0320-3557-2020-10014>
5. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. *Методология физиолого-иммунологической оценки гидробионтов*. Санкт-Петербург: Лань, 2026:96.
6. Королёва И.М., Терентьев П.М. Гематологические показатели сига обыкновенного (*Coregonus lavaretus* L.) в условиях антропогенного загрязнения (на примере оз. Ковдор). *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2018;15:468–471. <https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.119>
7. Кассал Б.Ю. Результаты векового изучения некоторых особенностей биологии популяции муксуна *Coregonus muksun* Обь-иртышского бассейна. *Экология гидросферы*. 2021;(1(6)):8–27. [https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1\(6\)-8-27](https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1(6)-8-27)
8. Сендек Д.С., Бочкарев Н.А. Проблемы сохранения видового и внутривидового разнообразия сиговых рыб (сем. Coregonidae) при искусственном воспроизводстве. *Рыбное хозяйство*. 2025;1(4):105–119. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-4-105-119>
9. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Референсные значения физиолого-иммунологических показателей гидробионтов разных видов. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. 2015;(4):103–108.

Сведения об авторах

Галина Иозеповна Пронина, доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; gidrobiont4@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0805-6784>

References

1. Bykov A.D., Brazhnik S.Y., Borkichev V.S. The dynamics of industrial fish catches in inland waters of Russia in 2014–2023. *Trudy VNIRO*. 2024(1);196:74–106. (In Russ.) <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2024-196-74-106>
2. Witeska M., Kondera E., Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology – a review. *Animals*. 2023;13(16):2625. <https://doi.org/10.3390/ani13162625>
3. Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Shuman L.A., Koroleva I.M. Biological responses of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) to reduced toxic impact: Metal accumulation, haematological, immunological, and histopathological alterations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022;239:113659. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113659>
4. Zabolotkina E.A., Serednyakov V.E. Seasonal dynamics of some indicators of blood of Pereslavl vendace (*Coregonus albula*). *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2020;(90(93)):91–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0320-3557-2020-10014>
5. Pronina G.I., Koryagina N.Yu. *Methodology of physiological and immunological assessment of aquatic organisms*. St. Petersburg, Russia: Lan, 2026:96. (In Russ.)
6. Korolyova I.M., Terentyev P.M. Hematological parameters of common whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) under anthropogenic pollution (case study of Lake Kovdor). *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTs RAN*. 2018;15:468–471. (In Russ.) <https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.119>
7. Kassal B.Yu. Results of a secular study of some features of the biology of the muksun population *Coregonus muksun* of the Ob-Irtysh basin. *Hydrosphere Ecology*. 2021;(1(6)):8–27. (In Russ.) [https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1\(6\)-8-27](https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1(6)-8-27)
8. Sendek D.S., Bochkarev N.A. Problems of conservation of species and intraspecies diversity of whitefishes (family Coregonidae) in artificial reproduction. *Fisheries*. 2025;1(4):105–119. (In Russ.) <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-4-105-119>
9. Pronina G.I., Koryagina N.Yu. Reference values of physiological and immunological indicators of hydrobionts of different species. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2015;(4):103–108. (In Russ.)

Information about the authors

Galina I. Pronina, Dsc (Bio), Professor at the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; gidrobiont4@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0805-6784>

Дат Ван Чан, аспирант кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dattran1069@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8212-6446>

Илья Владимирович Морозов, аспирант 1-го года обучения кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ilymorozovich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-8763-6912>

Дмитрий Владимирович Артеменков, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник департамента промысловых гидробионтов, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии ФГБНУ «ВНИРО»; 105187, Россия, г. Москва, Окружной проезд, 19; dmitriy.artemenkov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9051-697X>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.04.2026
Одобрена после рецензирования 18.05.2026
Принята к публикации 18.05.2026

Dat V. Tran, postgraduate student of the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; dattran1069@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8763-6912>

Ilya V. Morozov, postgraduate student of the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; ilymorozovich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-8763-6912>

Dmitriy V. Artemenkov, CSc (Agr), Senior Research Associate at the Department of Commercial Hydrobionts, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; 105187, Russian Federation, Moscow, Okruzhnoy Dr., 19; dmitriy.artemenkov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9051-697X>

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office April 21, 2026
Approved after reviewing May 18, 2026
Accepted for publication May 18, 2026