

Научная статья

УДК: 597.551.2 + 59.009: 591.111.1

DOI: 10.18101/2542-0623-2025-3-23-30

СОСТАВ КРОВИ СИБИРСКОЙ ПЛОТВЫ *RUTILUS RUTILUS* (L., 1758) (CYPRINIDAE) ЗАЛИВА ЧЕРКАЛОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

О. Е. Мазур

© Мазур Ольга Евгеньевна

кандидат биологических наук, научный сотрудник,

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН

Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

olmaz33@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты исследования состава крови сибирской плотвы *Rutilus rutilus* (L., 1758) из залива Черкалов озера Байкал. Гематологический анализ выявил типичную для костистых рыб цитологическую дифференцировку клеток, представленную эритроцитами, лимфоцитами и нейтрофилами на разных стадиях развития. Эритроидные элементы являлись преобладающей популяцией, а нормальный уровень гемоглобина свидетельствовал об отсутствии анемических процессов. Лейкоцитарная формула имела лимфоидный профиль: гранулоцитарный ряд был представлен лишь зрелыми и пролиферирующими нейтрофилами. Низкое содержание гранулоцитов, а также отсутствие в периферической крови эозинофилов и базофилов указывали на отсутствие активных воспалительных процессов у исследуемых рыб. Полученные данные свидетельствуют о хорошем адаптационном потенциале и удовлетворительном физиологическом состоянии вида после зимовки.

Ключевые слова: сибирская плотва, кровь, эритроциты, лейкоциты, белки крови, озеро Байкал.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке и в рамках задания Правительства РФ (Госрегистрация № 121030900141-8).

Для цитирования

Мазур О. Е. Состав крови сибирской плотвы *Rutilus rutilus* (L., 1758) (Cyprinidae) залива Черкалов озера Байкал // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2025. № 3(32). С. 23–30. DOI: 10.18101/2542-0623-2025-3-23-30

Введение

Залив Черкалов (Истокский сор) озера Байкал является мелководным участком прибрежно-соровой зоны Байкала, отделенным от акватории северной части Южного Байкала узкой песчаной косой. Залив является частью авандельты р. Селенги, принимая южные протоки дельты, входит в состав Селенгинского рыбопромышленного района Бурятии. Благодаря особому гидрохимическому режиму сора (низкая прозрачность, хорошая прогреваемость воды, наличие значительной биомассы фито- и зоопланктона) [Дагурова и др., 2022] создается достаточно

крупная сырьевая база для частиковых рыб и байкальского омуля, являющихся основными промысловыми видами в регионе [Рыбы озера Байкал... 2007].

Рыбы являются высокоэнергетическими пищевыми источниками протеинов, липидов и эссенциальных микроэлементов, традиционно включаемыми в питание населения. Вместе с тем ухудшение состояния природных водоемов в результате антропогенной деятельности и климатических изменений, влияющих на здоровье рыб, вызывает серьезную озабоченность в отношении популяций диких рыб. Для того чтобы минимизировать влияние болезней на рыб, знание и понимание адаптационных механизмов организма при различных стресс-факторах и при воздействии инвазионных патогенов являются основополагающими.

Одним из подходов к выявлению путей, связанных с функциональностью органов, является изучение гемопоэза организма. В условиях воздействия абиотических и биотических факторов среды реактивные изменения эритронов и лейкоцитарного звена системы крови рыб играют важную роль для поддержания гомеостаза, достоверно отражают патологические реакции в организме и позволяют оценивать адаптационные сдвиги при многих патологиях [Ahmed et al., 2020; Seibe et al., 2021; Suvorova et al., 2023].

В ихтиофауне оз. Байкал доминирующими представителями являются рыбы семейства карповых (Cyprinidae). Сибирская плотва *Rutilus rutilus* (L., 1758) — типичный вид байкальского мелководья. По типу питания плотва относится к эврифагам, способна свободно переходить на потребление различных пищевых объектов [Промысловые виды рыб... 2012]. Половозрелости рыбы достигают к трем-четырем годам, период нереста отмечается с середины мая по первые числа июня [Рыбы озера Байкал... 2007]. Плотва отличается эврибионтностью, а также отсутствием активных нерестовых и нагульных миграций, поэтому может выступать ценным биоиндикатором здоровья популяции и состояния среды обитания в целом.

Цель данной работы — определить особенности гематологических показателей сибирской плотвы из залива Черкалов оз. Байкал с целью оценки ее физиологического состояния.

Материал и методы

Биологический материал был получен в марте 2017 г. в заливе Черкалов оз. Байкал от половозрелой плотвы (III–IV степень зрелости) близкого возрастного состава (5+ ... 7+) при одинаковом соотношении самцов и самок, длиной и массой: 180–215 мм и 83–120 г. Биологические параметры определяли согласно И. Ф. Правдину (1966). Поскольку рыбы, зараженные патогенными паразитами, резко отличаются по иммунологическим и гематологическим показателям, то большое значение придавалось репрезентативности исследованных выборок по паразитарному фактору. Уровень зараженности фоновыми паразитами всех исследованных популяций плотвы и ельца был невысокий, и клинические или патоморфологические проявления болезней не зарегистрированы.

Кровь живых рыб отбирали стерильной пастеровской пипеткой из кровеносного сосуда после отсечения хвоста. Часть свежих образцов крови для исследования эритронов и лейкоцитарного состава крови использовали для приготовления

препаратов крови. Мазки крови фиксировали раствором Май-Грюнвальда с последующим окрашиванием по Романовскому. На препаратах определяли лейкоцитарную формулу на 200 клеток белой крови. Число незрелых эритроцитов и ядер-теней устанавливалось на 1000 зрелых эритроцитов. Клетки крови до вида идентифицировали по классификации Н. Т. Ивановой (1983). Общее число эритроцитов, лейкоцитов, концентрацию гемоглобина определяли согласно Сборнику... (1999). Часть крови набирали в пробирку для приготовления сыворотки. В сыворотке крови методом осаждения насыщенными растворами фосфатов определяли общее количество иммуноглобулинов [Сборник... 1999]. Статистический анализ проводили с помощью пакета программ Statistica 6.0. В таблице представлены средние значения и их стандартные ошибки.

Результаты и обсуждение

Оценка благополучия здоровья популяций диких рыб в настоящее время является актуальным в связи с ухудшением состояния природных водоемов в результате антропогенного загрязнения и климатических изменений. Для того чтобы снизить риск возникновения патологий и оценки адаптационных возможностей вида, изучение гомеостатических механизмов и фоновых физиологических параметров организма рыб имеет большое значение. Кроветворение — это процесс, при котором одна популяция гемопоэтических клеток производит эритроциты, тромбоциты и все типы лейкоцитов [Иванова, 1983; Грушко, 2010]. Клетки крови — высокочувствительные элементы, как в стабильном состоянии, так и в стрессовых условиях находятся в постоянном самообновлении и пролиферируют для поддержания гомеостаза [Реакция эритропоэза... 2019; Seibe et al., 2021]. Поэтому гематологическое исследование является полезным инструментом для мониторинга состояния здоровья и выявления заболеваний у рыб.

Морфологический анализ крови плотвы показал типичную для костистых рыб цитологическую дифференцировку (эритроциты, лимфоциты и нейтрофилы на разных стадиях развития) [Nabi et al., 2022; Zhu, Su, 2022] (табл.). Эритроидные элементы были преобладающей группой в составе крови, их содержание было адекватно высоким, в пределах 1,2–1,9 млн кл., уровень гемоглобина, этого железосодержащего белка, способного связываться с кислородом, тем самым обеспечивать доставку в ткани, был в среднем также на достаточно высоком уровне (рис.). Была зарегистрирована активация пролиферации клеток эритроидного ряда. Число незрелых элементов достигало 60 %, а число разрушенных эритроцитов (тени) 20 %, отмечены низкая встречаемость обратимых пойкилоцитов (зубчатые эритроциты) и отсутствие необратимых клеточных аномалий. Наши исследования выявили развитие компенсаторных процессов в эритроиде для поддержания циркулирующей эритроцитарной массы. Такая картина эритроидов типична в подледный и ранневесенний периоды, когда рыба испытывает некоторую степень гипоксии на фоне снижения уровня кислорода в воде, и имеет в основном сезонный характер [Головина, Тромбицкий, 1989; Мазур, 2015]. В целом данные изменения свидетельствовали о высоких адаптационных способностях эритропоэза плотвы «черкаловской» популяции.

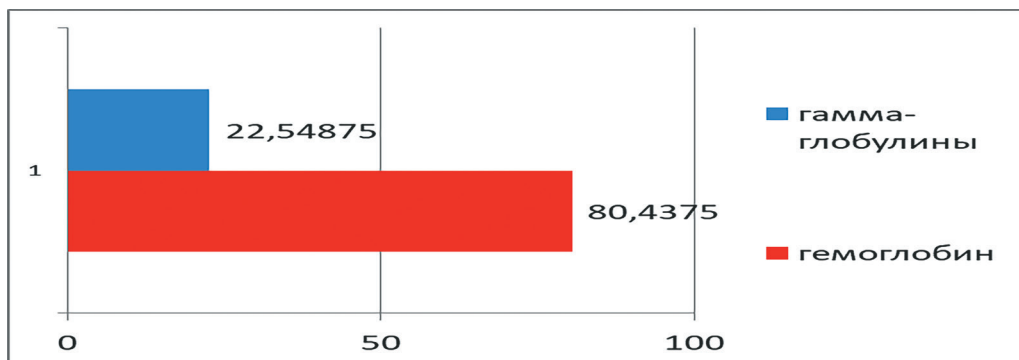


Рис. Содержание гемоглобина (г/л) и гамма-глобулинов (иммуноглобулинов, г/л) сибирской плотвы *Rutilus rutilus* (L., 1758) залива Черкалов оз. Байкал

При изучении лейкоцитарной реакции крови были отмечены некоторые особенности (табл.). Анализ общего числа лейкоцитов в крови плотвы показал его широкие количественные колебания от 3,0 тыс. до 7,0 тыс. / мкл крови. Лейкоцитарная формула имела лимфоидную направленность, также отмечено наличие моноцитов; гранулоцитарная линия представлена зрелыми и пролиферирующими стадиями нейтрофилов. Среди лимфоцитов доминировали зрелые формы (до 98%), которые являются ведущими эффекторами иммунного ответа. Выявлена низкая интенсивность гранулопоэза: число незрелых форм (миелоцитов и метамиелоцитов), палочкоядерных и функционально зрелых сегментоядерных нейтрофилов было не выше 3%. Нейтрофилы также являются важными иммуннокомпетентными клетками, обладают хемотаксисом, фагоцитарными функциями, способны продуцировать иммунорегуляторные сигнальные белки — цитокины, участвуют в воспалительных реакциях [Zou, Secombes 2016; Makesh et al., 2022]. Регистрировалось и низкое число циркулирующих моноцитов (у трех особей, не более 1% общего числа всех лейкоцитов) и отсутствие таких гранулоцитов, как базофилы и эозинофилы. Моноциты, предшественники макрофагов (клетки системы мононуклеарных фагоцитов), ответственны за широкий спектр иммунных реакций — от врожденных до адаптивных [Mokhtar et al., 2023]. Эозинофилы, базофилы, являющиеся иммунореактивными компонентами и участниками аллергических процессов [Makesh et al., 2022], реже других лейкоцитов встречаются в кровеносном русле рыб [Mokhtar et al., 2023]. Поэтому невысокое число гранулоцитов и моноцитов свидетельствовало об отсутствии воспалительных процессов в организме. Цитоморфологический анализ лейкоцитов не обнаружил клеточных аномалий, встречаемость вакуолизированных клеток была минимальной и не превышала 4%, что указывало на адекватно протекающие внутриклеточные процессы.

Белки крови представляют большой интерес для оценки здоровья рыб, являясь в целом достаточно лабильной системой, в то же время находятся в зависимости от окружающей среды и индивидуальных особенностей [Биохимические показатели... 2020; Alfonso et al., 2024]. Исследование белкового спектра крови показало широкое варьирование уровня гамма-глобулинов (11–30 г/л) (рис.). Гамма-глобулины — это белковая фракция крови, включает циркулирующие иммуноглобулины

(антитела), играющие важную роль в гуморальном иммунитете и обеспечивающие иммунную защиту организма от инфекций и чужеродных веществ [Alfonso et al., 2024]. Широкий диапазон концентрации этих белков свидетельствовал о неоднородности рыб по иммунному статусу, что, вероятно, связано с индивидуальными особенностями иммунного реагирования на разнообразные факторы естественной среды обитания [Головина, Тромбицкий, 1989]. При сопоставлении с данными по гематологическим показателям плотвы, обитающей в других водоемах Республики Бурятия, клеточный состав крови плотвы залива Черкалов принципиально от них не отличался, но тем не менее имел некоторые особенности. Сравнительный анализ показателей крови плотвы «черкаловской» популяции с плотвой из оз. Гусиное в ранневесенний период показал схожую картину крови [Мазур, 2015]. Плотва залива Черкалов имела более высокое содержание гемоглобина, общего числа лейкоцитов, лимфоцитов, низкое число эритроцитов относительно таковых плотвы из оз. Котокельское [Мазур и др., 2024]. Плотва «черкаловской» популяции отличалась от плотвы Чивыркуйского залива оз. Байкал более низкими значениями эритроцитов, лейкоцитов и лейкоцитарных гранулоцитов [Мазур, 2024]. Выявленные различия состава периферической крови рыб были, очевидно, обусловлены разным исходным иммунофизиологическим статусом рыб.

Таблица

Показатели крови сибирской плотвы *Rutilus rutilus* (L., 1758)
залива Черкалов оз. Байкал

Показатель	
Эритроциты, млн/мкл	1,5 ± 0,05
Незрелые эритроциты, %	37,5 ± 7,35
Лейкоциты, тыс./мкл	5,2 ± 0,27
Лимфоциты, %	97,6 ± 0,37
Общее число нейтрофилов, %, в том числе:	1,8 ± 0,36
миелоциты нейтрофильные, %	0
метамиелоциты нейтрофильные, %	0,4 ± 0,16
палочкоядерные нейтрофилы, %	0,8 ± 0,24
сегментоядерные нейтрофилы, %	0,6 ± 0,18
Моноциты	0,2 ± 0,09
Вакуолизированные клетки	0,9 ± 0,29
Тени	12,4 ± 1,88
Число рыб	20

Таким образом, состав крови плотвы залива Черкалов свидетельствовал о хорошем адаптационном физиологическом потенциале вида после зимовки и указывал в основном на развитие компенсаторных процессов, вероятно, в ответ на комплексное воздействие неблагоприятных факторов среды в исследуемый период года.

Литература

1. Биохимические показатели сыворотки крови краснухоустойчивой породы карпа в конце нагульного периода / Д. В. Микряков, А. О. Ревякин, Г. И. Пронина и др. // Труды ИБВВ РАН. 2020. № 92(95). С. 113–119. DOI: 10.47021/0320-3557-2021-113-119. Текст : непосредственный.
2. Головина Н. А., Тромбицкий И. Д. Гематология прудовых рыб. Кишинев : Штиинца, 1989. 158 с. Текст : непосредственный.
3. Грушко М. П. Клеточный состав кроветворных органов половозрелых самок представителей классов рыб, земноводных и пресмыкающихся : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Астрахань : Изд-во АГТУ, 2010. 43 с. Текст : непосредственный.
4. Дагурова О. П., Гаранкина В. П., Дамбаев В. Б. Органическое вещество прибрежных осадков мелководных заливов озера Байкал // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2022. № 2–3(21). С. 62–70. DOI: 10.18101/2542-0623-2022-2/3-62-71 Текст : непосредственный.
5. Иванова Н. Т. Атлас клеток крови рыб (сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб). Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1983. 184 с. Текст : непосредственный.
6. Мазур О. Е. Некоторые показатели крови сибирской плотвы в зоне влияния теплых вод Гусиноозерской ГРЭС (Восточная Сибирь) // Известия РАН. Сер. биологическая. 2015. № 6. С. 668–672. DOI: 10.7868/S0002332915060077 Текст : непосредственный.
7. Мазур О. Е. Состав крови сибирской плотвы (*Rutilus rutilus* (L., 1758)) (Cyprinidae) Чивыркуйского залива оз. Байкал // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2024. № 2(28). DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-72-77. Текст : непосредственный.
8. Мазур О. Е., Бурдуковская Т. Г., Толочко Л. В. Влияние экологической катастрофы в озере Котокельское (бассейн озера Байкал) на эритропоэтический и иммунный потенциал сибирской плотвы // Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов экстремальных местообитаний : материалы II Всероссийской конференции с международным участием (3–7 июля 2023 г., Улан-Удэ — Байкальск). Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2023. С. 70–71. Текст : непосредственный.
9. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. Москва : Пищевая промышленность, 1966. 376 с. Текст : непосредственный.
10. Промысловые виды рыб водоемов Иркутской области / А. Н. Матвеев, В. П. Самусенок, А. И. Вокин и др. // Байкальский зоологический журнал. 2012. № 2(10). С. 16–29. Текст : непосредственный.
11. Реакция эритропоза на трипаносомную инвазию у рыб, обитающих в радиоактивно загрязненной реке Теча / Г. А. Тряпицына, Е. А. Пряхин, Д. И. Осипов и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. 2019. Т. 59, № 1. С. 82–93. DOI 10.1134/S0869803119010119 Текст : непосредственный.
12. Рыбы озера Байкал и его бассейна / Н. М. Пронин [и др.]. Улан-Удэ : Изд-во Бурят. науч. центра СО РАН, 2007. 284 с. Текст : непосредственный.
13. Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб / под общей редакцией Н. А. Яременко. Москва : Агро-Вестник, 1999. Ч. 2. 236 с. Текст : непосредственный.
14. Ahmed I., Reshi Q. M., Fazio F. The Influence of the Endogenous and Exogenous Factors on Hematological Parameters in Different Fish Species: a review. *Aquacult. Int.* 2020; 28: 869–899. DOI:10.1007/s10499-019-00501-3
15. Alfonso S., Fiocchi E., Toomey L. et al. Comparative Analysis of Blood Protein Fractions in Two Mediterranean Farmed Fish: *Dicentrarchus labrax* and *Sparus aurata*. *BMC Veterinary Research*. 2024; 20(1): 322. DOI: 10.1186/s12917-024-04182-w

16. Makesh M., Bedekar K. M., Rajendran K. V. Overview of Fish Immune System. In: *Fish Immune System and Vaccines*. Springer, 2022, pp. 1–16. DOI: 10.1007/978-981-19-1268-9_1
17. Mokhtar D. M., Zaccone G., Alesci A., Kuciel M., Hussein M. T., Sayed R. K. A. Main Components of Fish Immunity: An Overview of the Fish Immune System. *Fishes*. 2023; 8(2): 93. DOI: 10.3390/fishes8020093
18. Nabi N., Ahmed I., Wani G. B. Hematological and Serum Biochemical Reference Intervals of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* Cultured in Himalayan Aquaculture: Morphology, Morphometrics and Quantification of Peripheral Blood Cells. *Saudi J. Biol. Sci.* 2022; 29(4): 2942–2957. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
19. Seibe H., Bassmann B., Rebl A. Blood Will Tell: What Hematological Analyses Can Reveal about Fish Welfare. *Front. Vet. Sci.* 2021; 8. DOI: 10.3389/fvets.2021.616955
20. Suvorova T. A., German A. V., Mikryakov D. V. A Comparative Study of the Leukocyte Formula of the Peripheral Blood, Head Kidney and Spleen of the Bream *Abramis brama* (Cyprinidae) in the Middle Volga Reservoirs. *J. Ichthyology*. 2023; 63: 382–386. DOI: 10.1134/S0032945223010149
21. Zhu W., Su J. Immune Functions of Phagocytic Blood Cells in Teleost. *Rev. Aquaculture*. 2022; 14(2): 521–1087. DOI: 10.1111/raq.12616
22. Zou J., Secombes C. J. The Function of Fish Cytokines. *Biology*. 2016; 5(2): 23. DOI: 10.3390/biology5020023

Статья поступила в редакцию 03.09.2025; одобрена после рецензирования 16.10.2025; принята к публикации 05.11.2025.

BLOOD COMPOSITION OF SIBERIAN ROACH *RUTILUS RUTILUS* (L., 1758) (CYPRINIDAE) FROM CHERKALOV BAY, LAKE BAIKAL

O. E. Mazur

Olga E. Mazur
Cand. Sci. (Biol.), Researcher,
Institute of General and Experimental Biology SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
olmaz33@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of a blood composition analysis in Siberian roach *Rutilus rutilus* (L., 1758) from Cherkalov Bay of Lake Baikal. Hematological analysis revealed a typical cytological differentiation for teleost fish, represented by erythrocytes, lymphocytes, and neutrophils at various developmental stages. The erythroid series was the predominant cell population, and normal hemoglobin levels indicated the absence of anemic processes. The leukogram exhibited a lymphoid profile: the granulocytic series was represented only by mature and proliferating neutrophils. The low granulocyte count along with the absence of circulating eosinophils and basophils suggested the lack of active inflammatory processes in the studied fish. The obtained data indicate a favorable adaptive capacity and satisfactory physiological condition of the species after wintering.

Keywords: Siberian roach, blood, erythrocytes, leukocytes, blood proteins, Lake Baikal.

Acknowledgments

The study was carried within the framework of the assignment of the Russian Federation Government (State Registration No. 121030900141-8).

For citation

Mazur O. E. Blood Composition of Siberian Roach *Rutilus rutilus* (L., 1758) (Cyprinidae) from Cherkalov Bay, Lake Baikal. *Nature of Inner Asia*. 2025; 3(32): 23–30. DOI: 10.18101/2542-0623-2025-3-23-30

The article was submitted 03.09.2025; approved after reviewing 16.10.2025; accepted for publication 05.11.2025.