

УДК 591.111.1:597.2/.5

К ВОПРОСУ О РЕФЕРЕНСНЫХ ЦИТОГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ ЛЕЩА *ABRAMIS BRAMA* ДЛЯ ЦЕЛЕЙ БИОМОНИТОРИНГА

**И. В. Суховская*, А. А. Цекова, Н. П. Канцерова,
Д. И. Лебедева, Н. П. Милянчук, Л. А. Лысенко**

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),
*sukhovskaya@inbox.ru

Кровь рыб – высокоинформативная среда для оценки состояния гомеостаза, что делает гематологические показатели (гематокрит, концентрацию гемоглобина, состав форменных элементов и наличие морфологических аномалий) перспективными биомаркерами для оценки здоровья рыб, диагностики заболеваний различной этиологии и биомониторинга водных экосистем. Однако их практическое использование ограничено недостатком референсных данных для многих видов, обитающих в природных условиях. Целью настоящего исследования было проведение цитоморфологического анализа периферической крови леща (*Abramis brama* (L., 1758)) из оз. Сямозеро (Республика Карелия) и установление характерных особенностей эритрограммы и лейкограммы. Объектом исследования служили половозрелые особи обоих полов в возрасте от 3+ до 9+, выловленные в июне 2024 г. Гидрохимический анализ воды подтвердил отсутствие превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, что позволяет рассматривать данный водоем как модельный для установления референсных показателей. Методом световой микроскопии окрашенных мазков проведен дифференциальный подсчет лейкоцитов и оценка морфологических аномалий эритроцитов. Установлено, что основную массу клеток крови составляют зрелые эритроциты, доля юных форм не превышает 2,4%. Среди аномалий эритроцитов наиболее распространен пойкилоцитоз (в среднем 10% эритроидных клеток), также встречались эритроциты с эксцентрически или периферически расположенным ядром (у 5,0% рыб), агглютинированные (у 25,0% особей) с образованием цепочек от 3 до 27 клеток, с фестончатым краем (не более 1,0% всех эритроцитов, у 75,0% рыб), с признаками амитотического деления (единичные находки). Лейкограмма леща имеет типичный лимфоидный характер (лимфоциты до 89%), среди гранулоцитов доминируют псевдоэозинофилы. Статистически значимых различий по содержанию форменных элементов крови в зависимости от пола не выявлено. Полученные данные восполняют пробелы в области гематологии карповых рыб, представляют количественные критерии для оценки физиологического состояния особей и популяций и могут служить основой для сравнительного анализа в токсикологических, экологических и рыбоводных исследованиях. Пополнение базы изображений гемоцитов леща также необходимо для автоматизации дифференциального подсчета гемоцитов с использованием методов нейросетевого моделирования.

Ключевые слова: лещ; *Abramis brama*; кровь; лейкоцитарная формула; гематограмма; озеро Сямозеро

Для цитирования: Суховская И. В., Цекова А. А., Канцерова Н. П., Лебедева Д. И., Мильячук Н. П., Лысенко Л. А. К вопросу о референсных цитогематологических показателях леща *Abramis brama* для целей биомониторинга // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 7. С. 187–201. doi: 10.17076/eco2374

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006 (№ г. р. 122032100052-8).

**I. V. Sukhovskaya*, A. A. Tsekova, N. P. Kantserova, D. I. Lebedeva,
N. P. Milyanchuk, L. A. Lysenko. ON THE CYTOHEMATOLOGICAL
REFERENCE VALUES FOR THE BREAM *ABRAMIS BRAMA*
FOR BIOMONITORING PURPOSES**

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *sukhovskaya@inbox.ru*

Fish blood is a highly informative medium for assessing homeostasis, turning hematological parameters such as hematocrit, hemoglobin concentration, cell counts, and morphological abnormalities into promising biomarkers for evaluating fish health, diagnosing diseases of various etiologies, and biomonitoring aquatic ecosystems. However, their practical application is limited by a lack of reference data for many species inhabiting natural environments. The aim of this study was to perform a cytomorphological analysis of the peripheral blood of bream (*Abramis brama* (L., 1758)) from Lake Syamozero (Republic of Karelia) and to characterize the erythrogram and leukogram. The study subjects were mature individuals of both sexes, aged 3+ to 9+ years, caught in June 2024. Hydrochemical analysis of the water confirmed that the maximum permissible concentrations of pollutants were not exceeded, allowing this reservoir to be considered a model system for establishing reference parameters. Using light microscopy of stained blood smears, we performed differential leukocyte counts and assessed morphological abnormalities in erythrocytes. A majority of the blood cells examined were mature erythrocytes, with juvenile forms not exceeding 2.4%. Among erythrocyte abnormalities, poikilocytosis was the most common (10% of erythroid cells on average). Other findings included erythrocytes with an eccentrically or peripherally located nucleus (in 5.0% of fish), agglutinated cells (in 25.0% of individuals) forming chains of 3 to 27 cells, erythrocytes with a scalloped edge (no more than 1.0% of all erythrocytes, observed in 75.0% of fish), and occasional signs of amitotic division (singular findings). The leukogram of the breams exhibited a typical lymphoid profile (lymphocytes accounting for up to 89% of leukocytes), with pseudoeosinophils predominating among granulocytes. No statistically significant differences in blood cell counts were found between sexes. The data obtained fill gaps in Leuciscidae hematology, provide quantitative criteria for assessing the physiological state of individuals and populations, and can serve as a basis for comparative analysis in toxicological, ecological, and aquaculture research. It is also necessary to expand the image database of bream hemocytes to enable automated differential hemocyte counting using neural network modeling methods.

Keywords: common bream; *Abramis brama*; blood; differential leukocyte count; hemogram; Lake Syamozero

For citation: Sukhovskaya I.V., Tsekova A.A., Kantserova N.P., Lebedeva D.I., Milyanchuk N.P., Lysenko L.A. On the cytohematological reference values for the bream *Abramis brama* for biomonitoring purposes. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 7. P. 187–201. doi: 10.17076/eco2374

Funding. The study was financed within state assignment to the Karelian Research Centre RAS No. FMEN-2022-0006 (state ID 122032100052-8).

Введение

Кровь – циркулирующая внутренняя среда организма, интегрально отражающая состояние гомеостаза. Оценка количественных гематологических показателей (гематокрит, концентрация гемоглобина, содержание форменных элементов – эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов и их субпопуляций, а также морфологических аномалий клеток) относится к числу информативных и экономически доступных методов оценки здоровья рыбы. Гематологические параметры отражают реакцию организма на стрессовые факторы внешней и внутренней среды и состояние иммунитета, что позволяет рассматривать их как биомаркеры для ранней диагностики заболеваний различной этиологии. Дополнительными преимуществами гематологического метода являются низкая инвазивность, возможность прижизненной диагностики, простота забора материала и его первичной обработки как в лабораторных, так и в полевых условиях. Несмотря на трудоемкость, анализ морфологической картины форменных элементов крови (цитогематограммы) с помощью световой микроскопии окрашенных мазков обладает высокой информативностью благодаря скорости развития клеточного ответа на повреждающий фактор или заболевание.

Состав форменных элементов крови рыб видоспецифичен и зависит от возраста, пола, физиологического состояния, а также от условий среды обитания (температуры воды, содержания кислорода, характера питания), что актуально для оценки как отдельных особей, так и популяций в целом [Головина, Тромбицкий, 1989; Камышников, 2004]. Ранее было показано, что гематологические изменения у рыб могут возникать при воздействии загрязнителей среды (ионов металлов, пестицидов) и фармакологических препаратов (антимикробных, противопаразитарных) [Kubra, 2022; Kanu et al., 2023; Rohani, 2023]. Степень и характер этих нарушений варьируют у разных видов и определяются природой ксенобиотика, его дозировкой, длительностью контакта, сопутствующими параметрами внешней среды, а также индивидуальными характеристиками (возраст, пол, размер, стадия зрелости) [Fazio, 2019]. В большинстве случаев токсиканты действуют неспецифично, индуцируют окислительный стресс, оказывают цитотоксическое действие и активируют компенсаторные механизмы [Witeska et al., 2023]. Для количественной оценки вызванных изменений необходимо установить видоспецифичные диапазоны референсных значений гематологических показателей. В силу пойкило-

термности внутренняя среда рыб крайне изменчива и в значительной мере зависит от внешних условий, что определяет сложность установления надежных референсных интервалов [Casanovas et al., 2021; Michail et al., 2022]. Согласно результатам исследования М. Witeska с соавторами [2023], гематологические параметры различаются по степени изменчивости и могут быть классифицированы на стабильные (количество лимфоцитов), умеренно изменчивые (концентрация гемоглобина, количество эритроцитов) и высоковариабельные (количество тромбоцитов), что обуславливает их различный биомаркерный потенциал.

Определение показателей крови у рыб, обитающих в ненарушенных природных условиях, позволяет установить гематологическую норму для каждого вида и выявлять характер адаптаций в период активного антропогенного воздействия на водоемы [Рыжков и др., 1998]. При патологических состояниях в крови рыб регистрируются морфологически измененные (аномальные) клеточные элементы. Кровь, как высоколабильная и быстро обновляемая ткань, быстро реагирует на действие различных факторов, поэтому гематологическое исследование, наряду с паразитологическими, микробиологическими и вирусологическими тестами, имеет важное значение для оценки состояния популяции и ранней диагностики заразных и незаразных заболеваний. Гематологические показатели объективно отражают физиологическое состояние организма и являются необходимым элементом биомониторинга. В области гематологии рыб есть ряд проблем и информационных пробелов, связанных, в частности, с установлением референсных значений, идентификационных признаков клеточных популяций, накоплением достаточной базы данных изображений, что делает исследования в этой области крайне необходимыми.

Цель настоящего исследования состояла в проведении цитоморфологического анализа периферической крови леща (*Abramis brama* (L., 1758)) и установлении характерных особенностей картины белой и красной крови (показателей лейкограммы и морфологических аномалий эритроцитов) для использования в биологическом мониторинге.

Материалы и методы

Объект исследования. Объектами исследования служили 23 особи леща (*Abramis brama* (Linnaeus, 1758)), выловленные в природном ареале обитания (Курмойльский залив оз. Сямозеро, Республика Карелия; 61°53'48.1" с. ш.,

33°05'40.9" в.д.) с помощью ставных сетей с размером ячеи 35–50 см в июне 2024 г. Характеристики изученной выборки рыб: возраст от 3+ до 9+, средняя длина (AD) $20,8 \pm 2,05$ см, средняя масса $187 \pm 65,2$ г, соотношение полов 15 самок : 8 самцов, стадия зрелости гонад 2–3 (табл. 1). У анестезированной при помощи гвоздичного масла (эмульсия 0,3 мл/л) рыбы иглой 21 G прижизненно отбирали кровь из хвостовой вены [Методические указания..., 1999] в вакуумную пробирку с активатором свертывания ЭДТА (МиниМед, Россия). После отбора крови рыбу наркотизировали (концентрация гвоздичного масла 1,0 мл/л), вскрывали, определяли пол, отбирали чешую

для установления возраста [Дгебуадзе, Чернова, 2009].

Гидрохимическая характеристика водоема. Температура воды в заливе в период забора материала составляла +14 °С (ST-4 Smartron, Yiwu, Китай), pH 6,81–6,82 (Hanna, Польша). Содержание основных биогенных элементов в пробах воды определяли по принятым протоколам (см. табл. 1), содержание химических элементов определяли на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой и системой лазерной абляции (Thermo Fisher, США) (табл. 2); оценивали соответствие показателей нормативам (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов.

Таблица 1. Водородный показатель и содержание биогенных элементов и некоторых анионов в воде в районе вылова (Курмойльский залив оз. Сямозеро, Республика Карелия), июнь 2024 г.

Table 1. Hydrogen index and content of biogenic elements and anions in water in the fishing area (Kurmoilsky Bay, Lake Syamozero, Republic of Karelia), June 2024

Показатель Parameter	Протокол метода измерений Protocol of the measurement procedure	Единица измерений Unit of measurement	Результаты анализа Results of the analysis		ПДК MPC
			Проба 1 Sample 1	Проба 2 Sample 2	
Водородный показатель pH Hydrogen index pH	РД 52.24.495-2017	ед. pH pH units	6,81	6,82	6,5–8,5
Гидрокарбонаты Hydrocarbonates	РД 52.24.493-2006	мг/дм ³ mg/dm ³	7,81	8,05	–
Сульфат-ион Sulfate ion	РД 52.24.405-2018	мг/дм ³ mg/dm ³	1,2	1,3	100
Хлорид-ион Chloride ion	РД 52.24.402-2011	мг/дм ³ mg/dm ³	0,86	0,82	300
Фосфор минеральный Mineral phosphorus	РД 52.24.382-2019	мкг Р/дм ³ µg P/dm ³	<2	<2	0,2
Фосфор общий Total phosphorus	РД 52.24.387-2006	мкг Р/дм ³ µg P/dm ³	14	13	<200
Азот аммонийный Ammonium nitrogen	РД 52.24.383-2018	мг N/дм ³ mg N/dm ³	0,070	0,094	0,5
Азот нитратный Nitrate nitrogen	РД 52.24.523-2009	мг N/дм ³ mg N/dm ³	0,016	0,015	9,1
Азот нитритный Nitrite nitrogen	РД 52.24.518-2008	мг N/дм ³ mg N/dm ³	<0,001	<0,001	0,02

Примечание. Здесь и в табл. 2: значения ПДК и ОБУВ вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное назначение, из [Об утверждении нормативов качества..., 2025].

Note. Here and in Table 2: Maximum Permissible Concentrations (MPC) and Safe Exposure Levels (SEL) of hazardous substances for water bodies of fishery significance from [On approval of water quality standards..., 2025].

Таблица 2. Концентрация химических элементов в воде в районе вылова (Курмойльский залив оз. Сямозеро, Республика Карелия), июнь 2024 г.

Table 2. The chemical element concentrations in water in the fishing area (Kurmoilsky Bay, Lake Syamozero, Republic of Karelia), June 2024

Элемент Element	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l	Элемент Element	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l	Элемент Element	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l
Li	0,00033	Zr	0,00001	Te	0,00009
Na	0,88275	Nb	0,0002	Cs	0,00007
Mg	0,61152	Mo	0,00003	Ba	0,00459

Окончание табл. 2
Table 2 (continued)

Элемент Element	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l	Элемент Element	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l	Элемент Element	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l
K	0,36679	Ag	0,00024	La	0,00014
Ca	1,01246	Cd	0,00002	Ce	0,00004
Sc	0,00013	Sb	0,00008	Pr	0,00008
Ti	0,00007	Ga	0,00024	Nd	0,00013
Cr	0,00015	Ge	0,00157	Sm	0,00002
Mn	0,03385	As	0,0001	Ho	0,00003
Fe	0,23569	Se	0,0002	Lu	0,00001
Ni	0,00018	Rb	0,00172	Ta	0,00089
Cu	0,00031	Sr	0,0098	W	0,0001
Zn	0,0003	Y	0,00002	Pb	0,00001

Морфологический анализ клеток кро-

ви. Сразу после отбора венозной крови готовили мазки крови по стандартному протоколу [Witeska et al., 2022]. Для этого из вакуумной пробирки автоматической пипеткой отбирали каплю крови (2 мкл), помещали на стекло для микропрепаратов (МиниМед, Россия), равномерно распределяли по поверхности с помощью стекла для растяжки мазков. Подсушенные на воздухе мазки фиксировали погружением в раствор Май-Грюнвальда (МиниМед, Россия) на 3 мин, затем промывали водой, высушивали на воздухе при комнатной температуре и окрашивали по Романовскому раствором красителя азур-эозин, приготовленным путем смешивания красителя, дистиллированной воды и фосфатного буфера (pH 6,4–6,8) в соотношении 5 : 4 : 1 в течение 20 мин.

Промытые водой и высушенные на воздухе мазки исследовали под световым микроскопом (Olympus CX-41, Япония) с масляной иммерсией при общем увеличении 1000× (объектив 100×, окуляр 10×). Для каждого мазка проводили дифференциальный подсчет лейкоцитов и аномалий эритроцитов, оценивая не менее 30 полей зрения,总共 не менее 1000 клеток. Количество клеток белой крови выражали в процентах от 1000 клеток, принятых за 100%.

Статистический анализ. Сравнительный анализ и визуализацию результатов проводили с использованием языка программирования R (R Core Team, Вена, Австрия) в интегрированной среде разработки RStudio версии 2025.09.1 (Positteam, Бостон, Массачусетс, США). Нормальность распределения данных оценивали с помощью теста Шапиро-Уилка. Сравнительный анализ показателей проводили с использованием теста Крускала-Уоллиса (пакет rstatix) при p-value ≤ 0,05.

Результаты и обсуждение

Референсный статус местообитания

леща. Курмойльский залив оз. Сямозеро расположен в западной части озера, удален от объектов промышленной и сельскохозяйственной деятельности, не несет рекреационной нагрузки [Стерлигова и др., 2024]. По результатам химического анализа воды оз. Сямозеро слабо минерализовано (25,3 мг/л), по содержанию фосфора (0,02–0,10 мг/л) относится к мезотрофному классу [Стерлигова, Ильмаст, 2012]. Содержание биогенных компонентов (см. табл. 1) и химических элементов (см. табл. 2) не превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов. Это позволяет рассматривать Сямозеро как модельный водоем Северо-Западного региона России для установления референсных показателей обитающих в нем гидробионтов.

Цитогематограмма леща. В нашем исследовании были установлены количественные показатели клеточного состава и описаны морфологические особенности клеток крови леща оз. Сямозеро. В дальнейшем эти данные могут быть использованы для диагностики состояния карповых рыб природных популяций и оценки качества водной среды.

Клетки эритроидного ряда. В периферической крови у исследованных нами особей леща абсолютное большинство (до 98%) форменных элементов представлены зрелыми формами эритроцитов (рис. 1, А). В норме это клетки овальной формы с овальным центрально расположенным ядром, цитоплазма которых равномерно окрашена в светло-фиолетовый или серо-фиолетовый цвет (окраска азур-эозином).

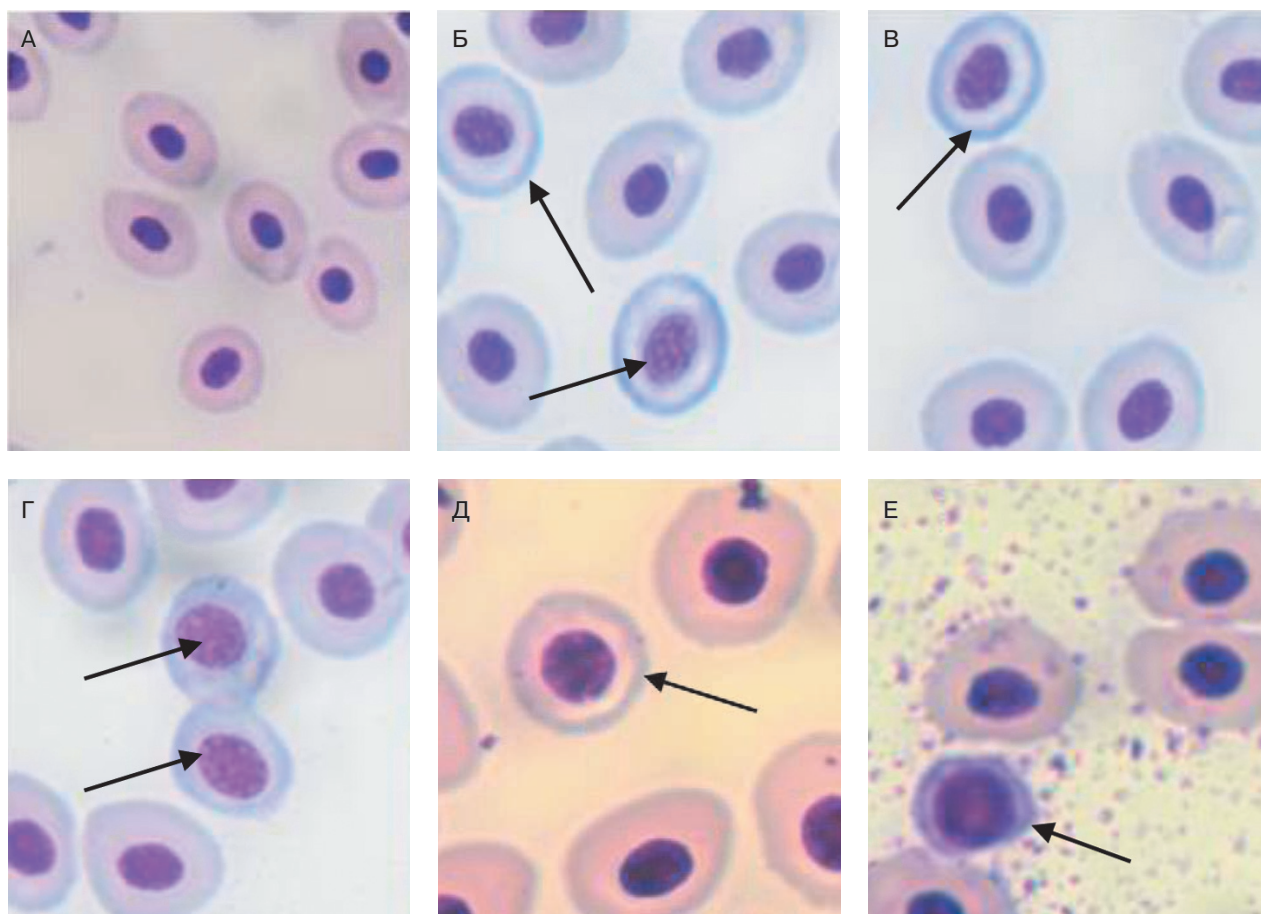


Рис. 1. Эритроциты периферической крови леща:

А – исключительно зрелые формы; Б–Е – единичные бластные (незрелые, юные) формы (отмечены стрелками)

Fig. 1. Peripheral blood erythrocytes of bream:

A – exclusively mature forms; Б–Е – single blast (immature, juvenile) forms (marked with arrows)

Поскольку у рыб эритропоэз завершается в кровяном русле [Иванов, 2003], их отличительной особенностью является полиморфизм эритроцитов, который характеризуется одновременным присутствием в периферической крови клеток различной степени зрелости (рис. 1). Доля (%) эритробластных форм от зрелых используется как индикатор эритропоэтической активности [Kaur, Kaur, 2015].

Незрелые эритроциты представляют собой круглые или слегка вытянутые клетки, цитоплазма которых окрашена в синий или светло-фиолетовый цвет. Размер ядра таких эритроцитов зависит от стадии зрелости по отношению к общему размеру клетки: по мере созревания размер ядра пропорционально уменьшается. В исследуемой периферической крови леща среднее количество юных эритроцитов составило $2,4 \pm 0,52\%$ от общего количества эритроцитов. В норме доля незрелых эритроцитов незначительна, их увеличение, как правило, свидетельствует о гипоксии или физиологических

нарушениях стрессовой этиологии [Sheikh et al., 2022]. В целом частота встречаемости незрелых эритроцитов у леща не превышала показатели для других видов, встречающиеся в литературе [Солдатов, 2023], что указывает на сопоставимую эритропоэтическую активность. Физиологически незрелые эритроциты, в отличие от зрелых форм, характеризуются более низким содержанием гемоглобина [Soldatov, 2005].

Кроме незрелых форм в крови леща нами обнаружены аномальные эритроциты. Наиболее распространенным нарушением был пойкилоцитоз (рис. 2, А–В) – изменение формы эритроцитов (более вытянутая, веретеновидная, угольная или каплевидная). Уровень пойкилоцитоза у исследованных нами рыб составил в среднем 10 % (от 4 % до 13 %), что, согласно литературным данным [Конькова, Федорова, 2016], находится в пределах нормы для данного вида рыб и не является клинически значимым нарушением. Повышенный уровень пойкилоцитоза относительно референсного

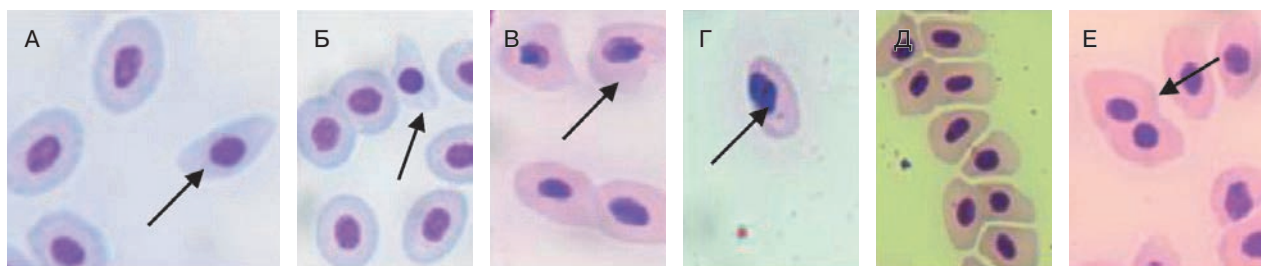


Рис. 2. Аномалии эритроцитов леща:

А–В – пойкилоцитоз; Г – эксцентрически смещенное ядро; Д – агглютинация; Е – фестончатый край

Fig. 2. Erythrocyte abnormalities in bream:

А–В – poikilocytosis; Г – displaced nucleus; Д – agglutination; Е – scalloped edge

может указывать на функциональную недостаточность кроветворных органов и часто сопутствует анемии.

Эритроциты с эксцентрически или периферически расположенным ядром (рис. 2, Г) наблюдались у 5,0 % лещей; в среднем количество смещенных ядер у каждой особи обнаруживалось не более чем в 0,1 % эритроцитов. Агглютинация, или слипание, эритроцитов (рис. 2, Д) была выявлена у 25,0 % исследованных особей. Цепочки (стопки) агглютированных эритроцитов насчитывали от 3 до 27 клеток. Эритроциты с фестончатым краем (рис. 2, Е), формирующимся вследствие нарушения их осмотической резистентности, составляли не более 1,0 % от всех эритроцитов и обнаруживались у 75,0 % рыб.

Дегенеративные изменения эритроцитов манифестируют вакуолизированными формами и клеточными тенями (рис. 3). Вакуолизация цитоплазмы эритроцитов (рис. 3, А–Б) происходит вследствие внутриклеточных обменных нарушений; вакуолизированные клетки встречались у 12 % лещей и составляли в среднем около 9 % (от 4 до 15 %) эритроцитов. Ядерные тени, образующиеся после полного распада ядра и цитоплазмы вследствие гемолиза, – распространенный феномен, который наблюдался у 75 % лещей (рис. 3, В) в количестве не более 1,2 % эритроцитов.

Морфологические аномалии эритроцитов включают также клетки в стадии патологического деления путем амитоза – прямого деления зрелых клеток. Эти клетки имеют перетяжку в области клеточного ядра (рис. 4, А) или сегментированное ядро (рис. 4, Б–В). Фоновый уровень амитоза у исследованных особей леща составляет 0,08 % от общего числа эритроцитов (от 0,01 до 0,1 %). В исследованных мазках крови леща не были обнаружены резидуальные тельца амитоза – шистоциты, представляющие собой безъядерные фрагменты цитоплазмы разделившихся амитотическим путем эритроцитов. Амитоз обычно инициируется у рыб при анемии и токсикозах.

Микроскопический анализ популяций эритроцитов является эффективным инструментом для оценки воздействия токсичных веществ, включая химические загрязнители среды и токсины инфекционных и паразитарных агентов, на рыб. Любые морфологические изменения эритроцитов или их ядра и нетипичная тропность к красителю могут рассматриваться как аномалии. Морфологические аномалии эритроцитов количественно возрастают при метаболических нарушениях, дефиците кислорода и действии стрессовых факторов окружающей среды [Witeska et al., 2010; de Oliveira et al., 2020]. Частота встречаемости аномальных эритроцитов у исследованных

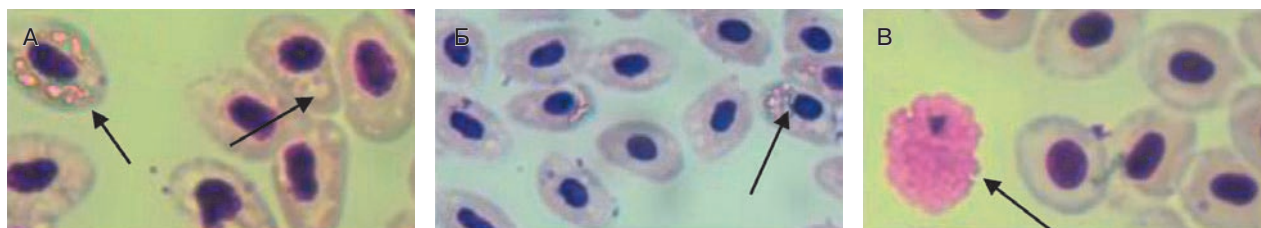


Рис. 3. Дегенеративные эритроциты леща: А–Б – вакуолизация цитоплазмы; В – ядерные тени

Fig. 3. Degenerative erythrocytes in bream: А–Б – cytoplasmic vacuolization; В – nuclear shadows

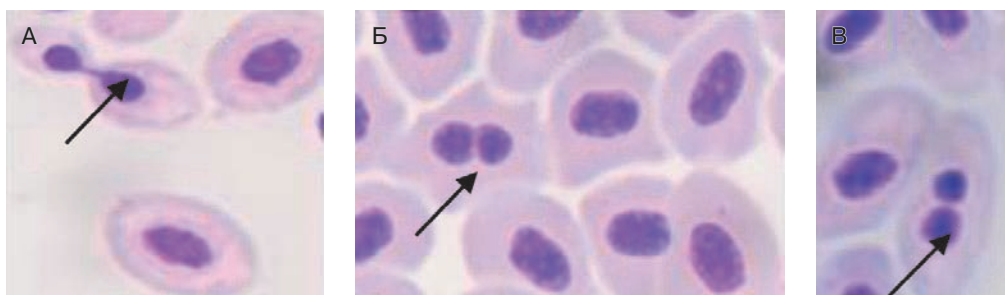


Рис. 4. Аномальные формы эритроцитов в стадии амитоза у леща:

А – две не полностью разошедшиеся дочерние клетки, образовавшиеся путем амитоза; Б–Б – эритроциты с сегментированным ядром

Fig. 4. Abnormal forms of erythrocytes in the stage of amitosis in bream:

А – two incompletely separated daughter cells due to amitosis; Б–Б – erythrocytes with a segmented nucleus

здоровых особей леща составляет видовую физиологическую норму. Максимальный уровень аномальных эритроидных клеток – пойкилоцитозных (до 13%), дегенеративно измененных (до 15%) и амитотически делящихся (до 0,1 %) – оказался сходен для леща разного возраста (от 3+ до 9+) и пола, и указанные значения могут быть использованы в качестве видовой нормы. Частота обнаруженных морфологических аномальных клеток свыше порогового уровня может указывать на негативное воздействие факторов внешней среды.

Клетки лейкоцитарного ряда. Лейкоциты составляют вторую по численности (после эритроцитов) клеточную популяцию в крови позвоночных животных. Консервативная роль лейкоцитов у всех позвоночных состоит в их участии в иммунологической защите. Поэтому подсчет количественных или морфологических изменений лейкоцитов периферической крови является одним из самых простых способов оценки иммунной системы.

Лейкограмма исследованных особей леща носит лимфоидный характер: в кровотоке

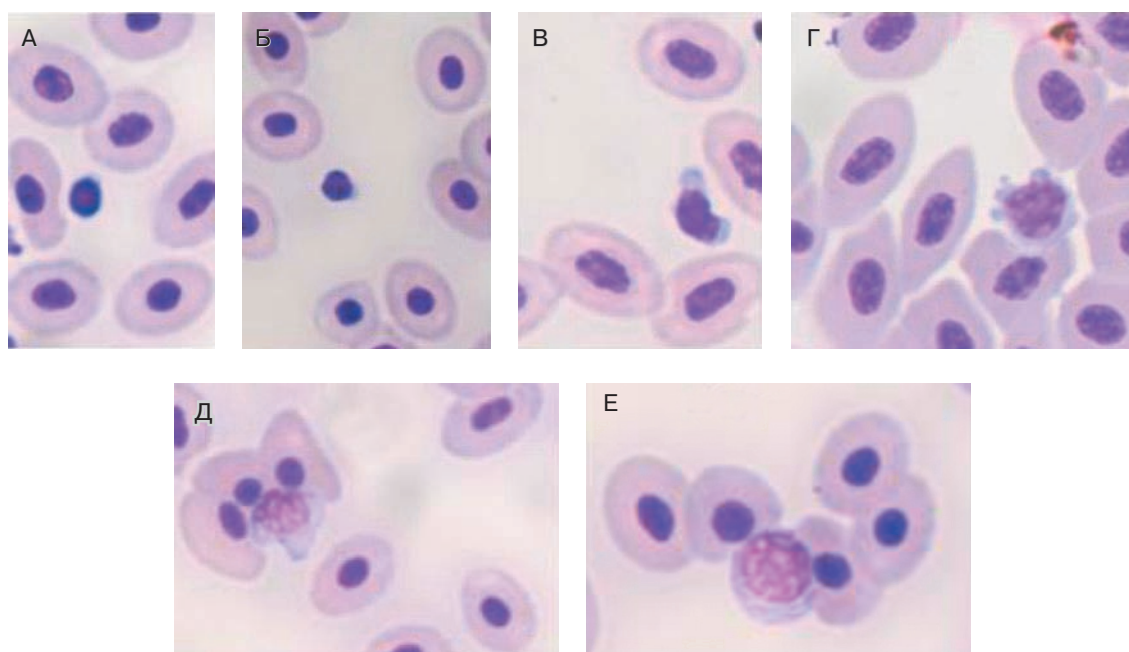


Рис. 5. Лимфоциты периферической крови леща, дифференцированные по размеру и ядерно-цитоплазматическому соотношению:

А, Б – малые; В, Д – средние; Г, Е – большие; Г – лимфоцит с псевдоподиями

Fig. 5. Bream peripheral blood lymphocytes differentiated by size and nuclear-cytoplasmic ratio:

А, Б – small; В, Д – medium; Г, Е – large; Г – lymphocyte with pseudopodia

преобладают зрелые лимфоциты. Отличительные признаки лимфоцитов: неправильная округлая форма, большое круглое или овальное ядро, расположенное центрально или эксцентрично (рис. 5), цитоплазма однородная, окружена тонкой светло-голубой каймой. По морфологическим признакам (размер и ядерно-цитоплазматическое соотношение) лимфоциты леща делятся на малые (рис. 5, А, Б), средние (рис. 5, В, Д) и большие (рис. 5, Г, Е), из них, согласно нашим наблюдениям, преобладают малые. Реализация иммунной функции лимфоцитов у рыб включает их способность к фагоцитозу, такие лимфоциты приобретают подвижность за счет формирования пальцеобразных выступов цитоплазмы – псевдоподий (рис. 5, Г).

Моноциты – самые крупные клетки лейкоцитарного ряда у рыб, по размеру превосходят эритроциты в 1,5–2,5 раза (рис. 6). Относятся к группе агранулоцитов (незернистых лейкоцитов) и являются предшественниками тканевых макрофагов. Форма моноцитов чаще округлая или овальная, иногда неправильная (амебовидная) из-за высокой подвижности. Моноциты имеют большое ядро, форма которого может быть бобовидной, подковообразной, почковидной или складчатой с изрезками, с рыхлой, сетчатой структурой хроматина. Цитоплазма окрашивается азури-эозином в серо-голубой, дымчатый цвет и часто содержит мелкие вакуоли, что является важным идентификационным признаком [Иванова, 1983]. Моноциты в крови рыб

выполняют ключевую функцию фагоцитов, являясь важнейшим звеном как врожденного, так и приобретенного иммунитета [Wu et al., 2020].

Помимо агранулоцитов, лимфоцитов и моноцитов, в периферической крови леща лейкоциты представлены гранулоцитами – псевдоэозинофилами, псевдобазофилами и нейтрофилами, различающимися своей тропностью к красителю.

Псевдоэозинофилы – это амфифильные агранулоциты, у которых гранулы окрашиваются основными и кислыми красителями с преобладанием ацидофилии [Иванова, 1970]. Ядро, как правило, округлой или овальной формы, красно-фиолетовое, расположено резко эксцентрично. Характерной особенностью псевдоэозинофилов является специфическая зернистость цитоплазмы, гранулы достаточно яркие и чаще удлиненной формы, напоминающей мелкие иголки (рис. 7, А–Б). Гранулы псевдоэозинофилов содержат щелочной противопаразитарный белок и значительное количество ферментов. Цитоплазма псевдоэозинофилов слабобазофильная, светло-фиолетового или розоватого оттенка. Обладая слабой фагоцитарной активностью, псевдоэозинофилы вызывают внеклеточный цитолиз и участвуют в противогельминтном иммунитете [Конькова и др., 2024].

Ядро псевдобазофилов крупное, преимущественно округлой формы, интенсивно окрашенное в темно-фиолетовый цвет. В цитоплазме псевдобазофилов на слабо оксифильном фоне располагаются крупные красно-фиолетовые гранулы (рис. 7, В–Г). В гранулах клеток содержатся гистамин, лейкотриены, тромбоксаны, ферменты и другие биологически активные вещества, поддерживающие реакции воспаления. Псевдобазофилы подвижны, способны к фагоцитозу [Zheng et al., 2017].

Нейтрофилы леща – крупные округлые клетки, содержащие базофильно окрашенные гранулы (рис. 7, Д), зернистость цитоплазмы выражена слабо, цитоплазма бледно-фиолетового цвета. Ядро нейтрофилов окрашено в красно-фиолетовый цвет, часто

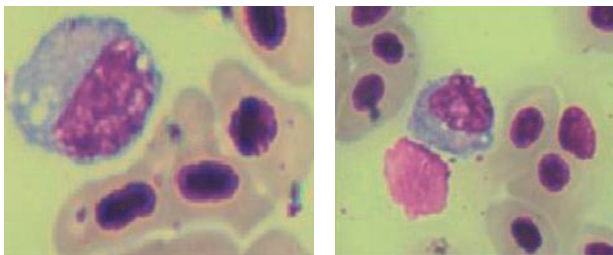


Рис. 6. Моноциты периферической крови леща
Fig. 6. Monocytes in the peripheral blood of bream

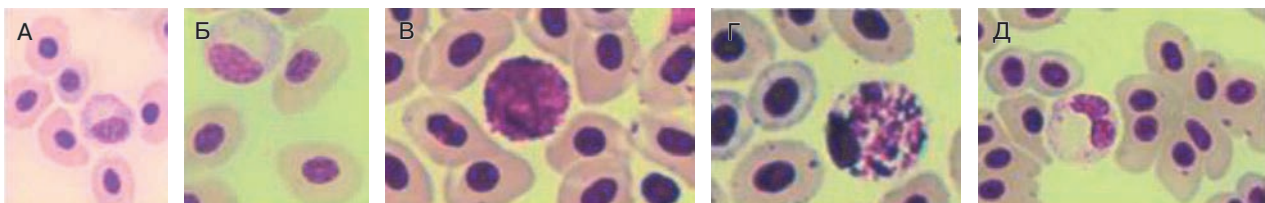


Рис. 7. Гранулоциты периферической крови леща:
А–Б – псевдоэозинофилы; В–Г – псевдобазофилы; Д – нейтрофил (в центре изображения)
Fig. 7. Granulocytes of peripheral blood of bream:
А–Б – pseudoeosinophils; В–Г – pseudobasophils; Д – neutrophil (in the centre of image)

расположено эксцентрично. В зависимости от степени зрелости меняется строение ядра, согласно чему выделяют палочкоядерные (ядро в форме подковы) и сегментоядерные нейтрофилы (ядро сегментировано). Нейтрофилы – главные участники первой линии врожденного иммунитета, их основная функция у костистых рыб – борьба с микроорганизмами путем развития острой воспалительной реакции [Navixbeck et al., 2016].

Помимо основных групп гранулоцитов в периферической крови леща мы обнаружили так называемые пенистые клетки, клетки с вакуолизированной цитоплазмой (рис. 8). Это крупные гранулоциты с бесцветной, сильно гранулированной цитоплазмой и со смещенным к периферии ядром [Иванова, 1970]. Их функции до конца не выяснены, однако увеличение числа пенистых клеток в периферической крови может указывать на нарушения обменных процессов в организме рыбы, в частности, липидного обмена [Валова, 2015].

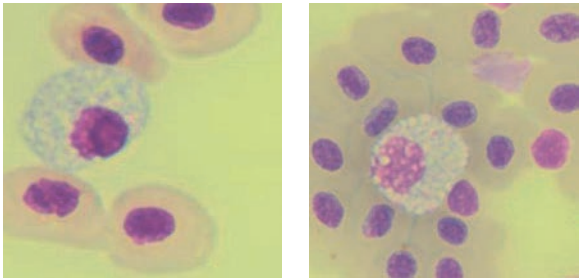


Рис. 8. Пенистые клетки периферической крови леща

Fig. 8. Foam cells of the peripheral blood of bream

В табл. 3 обобщены данные по содержанию лейкоцитов в периферической крови леща, полученные в настоящем исследовании, и референсные значения для леща из литературных источников [Суворова, Герман, 2024]. Отмечается высокое сходство ориентировочных диапазонов клеток крови лещей из разных местобитаний.

Как отмечалось ранее, у рыб лимфоциты образуют наиболее многочисленную популяцию иммунокомпетентных клеток, доля которых в периферической крови достигает 89 % от общего числа лейкоцитов в отличие от теплокровных животных и человека, у которых содержание лимфоцитов не превышает 60 % [Иванова, 1983]. Согласно современным представлениям, лимфоциты являются ключевыми клетками иммунной системы, обеспечивающей все основные реакции иммунитета: распознавание, разрушение и элиминацию чужеродных тел, сохранение индивидуальной целостности, а также формирование адаптивного иммунитета путем синтеза антител [Микряков, Микряков, 2007]. Важнейшими клетками, обеспечивающими иммунную защиту, процессы адаптации и борьбу с чужеродным материалом, выступают также гранулоциты и моноциты. У исследованных нами рыб второе место по частоте встречаемости среди гранулоцитов занимают псевдоэозинофилы и псевдобазофилы. Количество нейтрофилов в крови значительно ниже, чем других лейкоцитов. В целом дифференциальный подсчет лейкоцитов у исследованных нами особей показал, что их количество не превышало ранее установленные референсные значения.

Таблица 3. Лейкоцитарная формула периферической крови леща. Относительное содержание лейкоцитов разных популяций (% , среднее значение (мин/макс)) оз. Сямозеро и референсные значения у леща из других местобитаний

Table 3. Leukocyte count of bream peripheral blood. Relative content (%) of leukocytes of different populations (average value (min/max)) in Lake Syamozero and reference values in bream from other habitats

Показатель Index	Доля клеток (%) от всех лейкоцитов, принятых за 100 % Ratio of cells (%) from all leukocytes taken as 100 %	
	Лещ оз. Сямозеро (2024 г.) Bream from Lake Syamozero	Лещ водохранилища верхней Волги [Суворова, Герман, 2024] Bream from the Upper Volga reservoirs [Suvorova, German, 2024]
Лимфоциты Lymphocytes	89,12 (74,1/91,8)	75,0–90,0
Псевдоэозинофилы Pseudoeosinophils	5,30 (3,4/6,2)	4,0–6,5
Псевдобазофилы Pseudobasophils	4,16 (2,9/4,9)	2,0–5,3
Нейтрофилы Neutrophils	1,30 (0,7/1,4)	1,0–2,0
Моноциты Monocytes	0,12 (0,05/0,16)	0,1–3,5

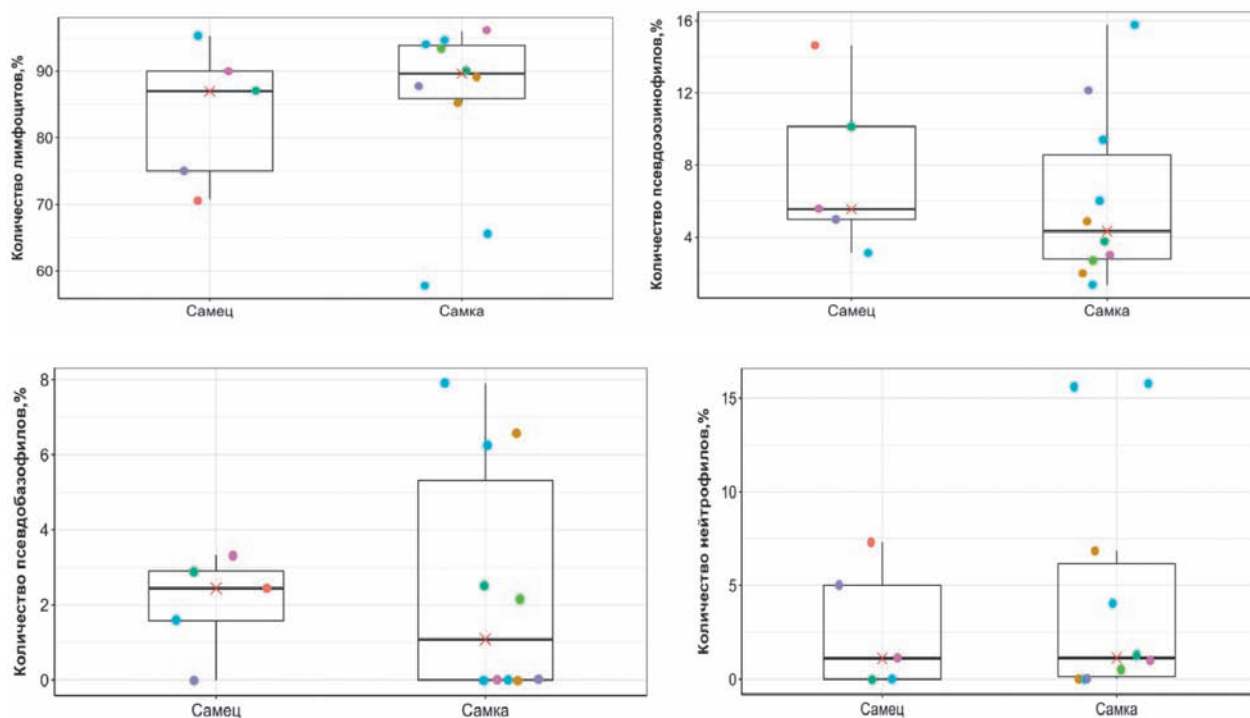


Рис. 9. Лейкоцитарная формула периферической крови у самцов и самок леща, оз. Сямозеро (% от общего количества лейкоцитов)

Fig. 9. Leukocyte formula of peripheral blood of male and female bream from Lake Syamozero (% of the total leukocyte count)

Для лейкоцитарной формулы рыб известен феномен возрастной зависимости [Анисимова и др., 1983], которая отражает онтогенетическое развитие иммунной системы, а также зависимость от полового цикла и гормональных перестроек. В нашем исследовании для особей разного пола возраста от 3+ до 9+ были получены сходные данные, позволяющие предложить единый, довольно узкий диапазон нормальных значений для практики мониторинговых исследований (рис. 9). По мере роста рыбы обычно увеличивается число лимфоцитов, а у половозрелых особей, особенно в период нереста, увеличивается количество сегментоядерных нейтрофилов.

Тромбоциты. Тромбоциты рыб – это удлиненные, веретенообразные клетки с ядром такой же формы (рис. 10) и бледно-розовой, неровно окрашенной цитоплазмой, отходящей от одного или обоих полюсов ядра. Тромбоциты крови леща располагались как поодиночке, так и группами из трех-пяти клеток. В некоторых случаях границы цитоплазмы отдельных клеток были трудно различимы. Исследования показывают, что тромбоциты низших позвоночных, помимо участия в свертывании крови, выполняют фагоцитарную функцию и способны продуцировать цитокины, регулирующие иммунные реакции [Chen et al., 2019].

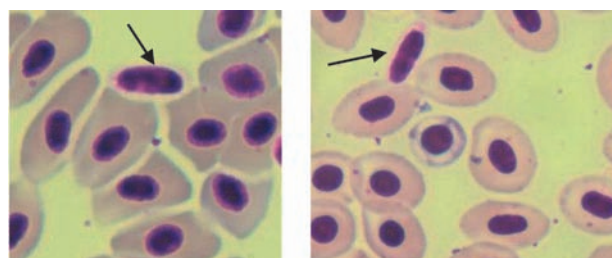


Рис. 10. Тромбоциты периферической крови леща
Fig. 10. Platelets of the peripheral blood of bream

Закключение

В результате проведенного цитоморфологического анализа периферической крови леща (*Abramis brama* (L., 1758)) из модельного, слабо трансформированного деятельностью человека водоема – оз. Сямозеро (Республика Карелия) – установлены типичные для вида соотношения форменных элементов, различающихся морфологически по степени зрелости (эритроциты) и вовлеченности в иммунный ответ (лимфоциты, гранулоциты), а также допустимые уровни клеточных аномалий. Статистически значимых различий по содержанию лейкоцитов в зависимости от пола не выявлено.

Полученные в нашем исследовании данные восполняют пробелы в гематологии карповых рыб Северо-Западного региона и предоставляют количественные критерии для оценки физиологического состояния особей и популяций или для установления связи реакций организма с факторами окружающей среды. Представленные материалы могут быть использованы в качестве референсных при проведении токсикологических, экологических и рыбоводных исследований, а также для ранней диагностики нарушений гомеостаза под влиянием природных и антропогенных факторов.

Полученные данные также способствуют пополнению базы изображений гемоцитов для решения актуальной задачи автоматизации трудоемкого процесса дифференциального подсчета гемоцитов и составления эритрограммы и лейкоцитарной формулы путем перспективного подхода, основанного на использовании методов нейросетевого моделирования.

Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП КарНЦ РАН.

Литература

- Анисимова И. М., Лавровский В. В. Ихтиология: Учеб. пособие для высш. с.-х. учеб. заведений по спец. «Зоотехния». М.: Высш. шк., 1983. 255 с.
- Валова В. Н. Физиологический статус сеголеток калуги и реципрокного гибрида стерлядь × калуга в период зимовки // Известия ТИНРО. 2015. Т. 182. С. 226–241.
- Головина Н. А., Тромбицкий И. Д. Гематология прудовых рыб. Кишинев: Штиинца, 1989. 156 с.
- Дгебуадзе Ю. Ю., Чернова О. Ф. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 315 с.
- Иванов А. А. Физиология рыб. М.: Мир, 2003. 284 с.
- Иванова Н. Т. Атлас клеток крови рыб. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. 184 с.
- Иванова Н. Т. Материалы к морфологии крови рыб. Ростов-на-Дону, 1970. 136 с.
- Камышников В. С. Справочник по клинико-биохимическим исследованиям в лабораторной диагностике. М.: МЕДПресс-информ, 2004. С. 56–60.
- Конькова А. В., Файзулина Д. Р., Ширина Ю. М., Богатов И. А. Генотоксические эффекты в клетках крови осетровых рыб (Acipenseridae) в условиях садкового хозяйства дельты Волги // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19, № 2. С. 69–81. doi: 10.18470/1992-1098-2024-2-7
- Конькова А. В., Федорова Н. Н. Патоморфологические изменения эритроцитов молоди леща *Abramis brama* Волжско-Каспийского бассейна // Труды ВНИРО. 2016. Т. 162. С. 12–19.
- Микряков В. Р., Микряков Д. В. Лейкограмма крови карпа *Cyprinus carpio* L. при язвенной болезни кожи // Ветеринарная патология. 2007. № 3. С. 107–110.
- Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Федерального агентства по рыболовству от 26 мая 2025 года № 296. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1312976080> (дата обращения: 15.03.2026).
- Солдатов А. А. Моноцикличность в функционировании эритроидного ростка гемопоэза у костистых рыб, на примере *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2023. Т. 512, № 1. С. 495–499. doi: 10.31857/S2686738923600395
- Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В. Состояние популяций корюшки *Osmerus perlanus* Выгозера и Сямозера, сформировавшихся в результате саморасселения // Вопросы ихтиологии. 2012. Т. 52, № 3. С. 358–364.
- Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Аникиева Л. В. Сравнительный анализ популяционных показателей ряпушки *Coregonus albula* (Salmonidae: Coregoninae) Сямозера в разных условиях обитания // Вопросы ихтиологии. 2024. Т. 64, № 4. С. 391–400. doi: 10.31857/S0042875224040023
- Суворова Т. А., Герман А. В. Лейкоцитарный состав периферической крови и иммунокомпетентных органов леща *Abramis brama* (Cyprinidae) водохранилищ верхней Волги // Вопросы ихтиологии. 2024. Т. 64, № 2. С. 248–252. doi: 10.31857/S0042875224020101
- Шейна Т. А., Михеев П. Б., Мухина М. В., Костицына Н. В., Бакланов М. А. Влияние засоления и повышенной температуры воды на характеристики крови рыб в условиях бореальных водоемов: результаты эксперимента с использованием молоди речного окуня *Perca fluviatilis* бассейна р. Камы (Пермский край, Россия) // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Сер. Рыбное хозяйство. 2022. № 4. С. 123–134. doi: 10.24143/2073-5529-2022-4-123-134
- 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. Vol. 28. P. 869–899. doi: 10.1007/s10499-019-00501-3
- Casanovas P., Walker S. P., Johnston H., Johnston C., Symonds J. E. Comparative assessment of blood biochemistry and haematology normal ranges between Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) from seawater and freshwater farms // Aquaculture. 2021. Vol. 537. Art. 736464. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736464
- Chen H., Yuan G., Su J., Liu X. Hematological analysis of *Ctenopharyngodon idella*, *Megalobrama amblycephala* and *Pelteobagrus fulvidraco*: Morphology, ultrastructure, cytochemistry and quantification of peripheral blood cells // Fish & Shellfish Immunology. 2019. Vol. 90. P. 376–384. doi: 10.1016/j.fsi.2019.04.044
- de Oliveira J. S. P., Vieira L. G., Carvalho W. F., de Souza M. B., de Lima Rodrigues A. S., Simões K., de Melo De Silva D., Dos Santos Mendonça J., Hirano L. Q. L., Santos A. L. Q., Malafaia G. Mutagenic, genotoxic and morphotoxic potential of different

pesticides in the erythrocytes of *Podocnemis expansa* neonates // Sci. Total. Environ. 2020. Vol. 737. Art. 140304. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140304

Fazio F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review // Aquaculture. 2019. Vol. 500. P. 237–242. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.10.030

Havixbeck J. J., Rieger A. M., Wong M. E., Hodgkinson J. W., Barreda D. R. Neutrophil contributions to the induction and regulation of the acute inflammatory response in teleost fish // Journal of Leukocyte Biology. 2016. Vol. 99. P. 1–12. doi: 10.1189/jlb.3HI0215-064R

Kanu K. C., Okoboshi A. C., Otitoloju A. A. Haematological and biochemical toxicity in freshwater fish *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus* following pulse exposure to atrazine, mancozeb, chlorpyrifos, lambda-cyhalothrin, and their combination // Comp. Biochem. Physiol. C. 2023. Vol. 270. Art. 109643. doi: 10.1016/j.cbpc.2023.109643

Kaur K., Kaur A. Fish erythrocytes as biomarkers for the toxicity of sublethal doses of an azo dye, Basic violet-1 (CI: 42535) // Microsc. Microanal. 2015. Vol. 21. P. 264–273. doi: 10.1017/S143192761401360

Kubra A. K. Anesthetic efficacy of clove oil and 2-phenoxyethanol as hematological, histopathological and echocardiographic on broodstock Danube sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) // J. Appl. Ichthyol. 2022. Vol. 38. P. 586–595. doi: 10.1111/jai.14361

Michail G., Berillis P., Nakas C., Henry M., Mente E. Haematology reference values for *Dicentrarchus labrax* and *Sparus aurata*: A systematic review and meta-analysis // J. Fish Dis. 2022. Vol. 45. P. 1549–1570. doi: 10.1111/jfd.13680

Rohani M. F. Pesticides toxicity in fish: Histopathological and hemato-biochemical aspects: A review // Emerg. Contam. 2023. Vol. 9. Art. 100234. doi: 10.1016/j.emcon.2023.100234

Sheikh Z. A., Ahmed I., Jan K., Nabi N., Fazio F. Haematological profile, blood cell characteristic and serum biochemical composition of cultured brown trout, *Salmo trutta fario* with respect to sex // Heliyon. 2022. Vol. 8. e10247. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10247

Soldatov A. A. Peculiarities of organization and functioning of the fish red blood system // J. Evol. Biochem. Physiol. 2005. Vol. 41. P. 272–281. doi: 10.1007/s10893-005-0060-0

Stankevičiūtė M., Bučaitė A., Pažusienė J., Jurgelėnė Ž., Dainys J. Impact of fin erosion on biomarker responses in *Salmo trutta*: implications for the reliability of biological effects monitoring in aquatic environments // Fishes. 2026. Vol. 11, no. 3. P. 181. doi: 10.3390/fishes11030181

Witeska M., Kondera E., Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology: A review // Animals (Basel). 2023. Vol. 13, no. 16. Art. 2625. doi: 10.3390/ani13162625

Witeska M., Kondera E., Ługowska K. The effects of ichthyophthiriasis on some haematological parameters in common carp // Turk. J. Vet. Anim. Sci. 2010. Vol. 34. P. 267–271. doi: 10.3906/vet-0903-26

Witeska M., Kondera E., Ługowska K., Bojarski B. Hematological methods in fish – Not only for begin-

ners // Aquaculture. 2022. Vol. 547. Art. 737498. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737498

Wu L., Qin Z., Liu H., Lin L., Ye J., Li J. Recent Advances on Phagocytic B Cells in Teleost Fish // Front Immunol. 2020. Vol. 11. Art. 824. doi: 10.3389/fimmu.2020.00824

Zheng Z. X., Tang Y., Fang J., Peng X., Fan J. D., Cui H. M., Yang L. Z. Ultrastructural and cytochemical properties of peripheral blood cells of piebald naked carp (*Gymnocypris eckloni*) // Anatomia, histologia, embryologia. 2017. Vol. 46, no. 1. P. 17–24. doi: 10.1111/ahe.12225

References

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

Anisimova I. M., Lavrovskii V. V. Ichthyology. Moscow: Vyssh. shk.; 1983. 255 p. (In Russ.)

Casanovas P., Walker S. P., Johnston H., Johnston C., Symonds J. E. Comparative assessment of blood biochemistry and haematology normal ranges between Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) from seawater and freshwater farms. *Aquaculture*. 2021;537:736464. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736464

Chen H., Yuan G., Su J., Liu X. Hematological analysis of *Ctenopharyngodon idella*, *Megalobrama amblycephala* and *Pelteobagrus fulvidraco*: morphology, ultrastructure, cytochemistry and quantification of peripheral blood cells. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019;90:376–384. doi: 10.1016/j.fsi.2019.04.044

de Oliveira J. S. P., Vieira L. G., Carvalho W. F., de Souza M. B., de Lima Rodrigues A. S., Simões K., de Melo De Silva D., Dos Santos Mendonça J., Hirano L. Q. L., Santos A. L. Q., Malafaia G. Mutagenic, genotoxic and morphotoxic potential of different pesticides in the erythrocytes of *Podocnemis expansa* neonates. *Sci. Total. Environ.* 2020;737:140304. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140304

Dgebuadze Yu. Yu., Chernova O. F. Bony fish scales as a diagnostic and recording structure. Moscow: KMK Scientific Publications Partnership; 2009. 315 p. (In Russ.)

Fazio F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: a review. *Aquaculture*. 2019;500:237–242. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.10.030

Golovina N., Trombitskii I. Hematology of pond fishes. Kishinev: Stiinta; 1989. 156 p. (In Russ.)

Havixbeck J. J., Rieger A. M., Wong M. E., Hodgkinson J. W., Barreda D. R. Neutrophil contributions to the induction and regulation of the acute inflammatory response in teleost fish. *Journal of Leukocyte Biology*. 2016;99:1–12. doi: 10.1189/jlb.3HI0215-064R

Ivanov A. A. Fish physiology. Moscow: Mir; 2003. 284 p. (In Russ.)

Ivanova N. T. Atlas of fish blood cells. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost; 1983. 184 p. (In Russ.)

- Ivanova N. T. Materials for the morphology of fish blood. Rostov-na-Donu; 1970. 136 p. (In Russ.)
- Kamyshnikov V. S. Handbook of clinical and biochemical studies, and laboratory diagnosis. Moscow: MEDPress-inform; 2004. P. 56–60. (In Russ.)
- Kanu K. C., Okobosh A. C., Otitoloju A. A. Haematological and biochemical toxicity in freshwater fish *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus* following pulse exposure to atrazine, mancozeb, chlorpyrifos, lambda-cyhalothrin, and their combination. *Comp. Biochem. Physiol. C.* 2023;270:109643. doi: 10.1016/j.cbpc.2023.109643
- Kaur K., Kaur A. Fish erythrocytes as biomarkers for the toxicity of sublethal doses of an azo dye, Basic violet-1 (CI: 42535). *Microsc. Microanal.* 2015;21:264–273. doi: 10.1017/S143192761401360
- Kon'kova A. V., Faizulina D. R., Shirina Yu. M., Bogatov I. A. Genotoxic effects in blood cells of sturgeon (Acipenseridae) grown in conditions of cage farming of the Volga delta, Russia. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: Ecology, Development.* 2024;19(2):69–81. (In Russ.). doi: 10.18470/1992-1098-2024-2-7
- Kon'kova A. V., Fedorova N. N. Pathomorphological changes of erythrocytes of bream juvenile *Abramis brama* of the Volga-Caspian basin. *Trudy TINRO = Transactions of VNIRO.* 2016;162:12–19. (In Russ.)
- Kubra A. K. Anesthetic efficacy of clove oil and 2-phenoxyethanol as hematological, histopathological and echocardiographic on broodstock Danube sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*). *J. Appl. Ichthyol.* 2022;38:586–595. doi: 10.1111/jai.14361
- Michail G., Berillis P., Nakas C., Henry M., Mente E. Haematology reference values for *Dicentrarchus labrax* and *Sparus aurata*: a systematic review and meta-analysis. *J. Fish Dis.* 2022;45:1549–1570. doi: 10.1111/jfd.13680
- Mikryakov V. R., Mikryakov D. V. Blood leukogram of carp *Cyprinus carpio* L. with ulcerative skin disease. *Russian Journal of Veterinary Pathology.* 2007;3:107–110. (In Russ.)
- On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of pollutants in the waters of water bodies of fishery importance: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Federal Agency for Fisheries dated May 26, 2025 No. 296. (In Russ.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1312976080> (accessed: 15.03.2026).
- Rohani M. F. Pesticides toxicity in fish: Histopathological and hemato-biochemical aspects: a review. *Emerg. Contam.* 2023;9:100234. doi: 10.1016/j.emcon.2023.100234
- Sheikh Z. A., Ahmed I., Jan K., Nabi N., Fazio F. Haematological profile, blood cell characteristic and serum biochemical composition of cultured brown trout, *Salmo trutta fario* with respect to sex. *Heliyon.* 2022;8: e10247. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10247.
- Sheina T. A., Mikheev P. B., Mukhina M. V., Kostitsyna N. V., Baklanov M. A. Effect of salinization and higher water temperature on fish blood in boreal water bodies: experimental study on perch *Perca fluviatilis* juveniles in the Kama River basin (Perm Krai, Russia). *Vestnik Astrakhanskogo gos. tekhn. un-ta. Ser. Rybnoe khozyaistvo = Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry.* 2022;4:123–134. (In Russ.). doi: 10.24143/2073-5529-2022-4-123-134
- Soldatov A. A. Monocyclicity in the function of the erythroid hematopoietic lineage in teleost fish exemplified by *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758). *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o zhizni = Doklady Biological Sciences.* 2023;512(1):495–499. doi: 10.31857/S2686738923600395
- Soldatov A. A. Peculiarities of organization and functioning of the fish red blood system. *J. Evol. Biochem. Physiol.* 2005;41:272–281. doi: 10.1007/s10893-005-0060-0
- Stankevičiūtė M., Bučaitė A., Pažusienė J., Jurgelėnė Ž., Dainys J. Impact of fin erosion on biomarker responses in *Salmo trutta*: implications for the reliability of biological effects monitoring in aquatic environments. *Fishes.* 2026;11(3):181. doi: 10.3390/fishes11030181
- Sterligova O. P., Ilmast N. V. State of populations of smelt *Osmerus eperlanus* from Vygozero and Syamozero that formed as a result of self-dispersion. *Voprosy ikhtiologii = Journal of Ichthyology.* 2012;52(3):358–364. (In Russ.)
- Sterligova O. P., Ilmast N. V., Anikieva L. V. Comparative analysis of population parameters of the vendace *Coregonus albula* (Salmonidae: Coregoninae) in Lake Syamozero in different habitat conditions. *Voprosy ikhtiologii = Journal of Ichthyology.* 2024;64(4):391–400. (In Russ.). doi: 10.31857/S0042875224040023
- Suvorova T. A., German A. V. Percentage of leukocytes in peripheral blood, head kidney, and spleen of the *Abramis brama* (Cyprinidae) bream of the upper Volga reservoirs. *Voprosy ikhtiologii = Journal of Ichthyology.* 2024;64(2):248–252. (In Russ.). doi: 10.31857/S0042875224020101
- Valova V. N. Physiological status for fingerlings of kaluga and reciprocal hybrid sterlet × kaluga in the wintering period. *Izvestiya TINRO = Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography.* 2015;182:226–241. (In Russ.)
- Witeska M., Kondera E., Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology: a review. *Animals (Basel).* 2023;13(16):2625. doi: 10.3390/ani13162625
- Witeska M., Kondera E., Ługowska K. The effects of ichthyophthiriasis on some haematological parameters in common carp. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 2010;34:267–271. doi: 10.3906/vet-0903-26
- Witeska M., Kondera E., Ługowska K., Bojarski B. Hematological methods in fish – Not only for beginners. *Aquaculture.* 2022;547:737498. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737498
- Wu L., Qin Z., Liu H., Lin L., Ye J., Li J. Recent advances on phagocytic B cells in teleost fish. *Front Immunol.* 2020;11:824. doi: 10.3389/fimmu.2020.00824
- Zheng Z. X., Tang Y., Fang J., Peng X., Fan J. D., Cui H. M., Yang L. Z. Ultrastructural and cytochemical properties of peripheral blood cells of piebald naked carp (*Gymnocypris eckloni*). *Anatomia, histologia, embryologia.* 2017;46(1):17–24. doi: 10.1111/ahe.12225

Поступила в редакцию / received: 15.04.2026; принята к публикации / accepted: 15.05.2026.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Суховская Ирина Викторовна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: sukhovskaya@inbox.ru

Цекова Альбина Александровна

канд. биол. наук, научный сотрудник

e-mail: kochnevaalbina@gmail.com

Канцерова Надежда Павловна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: nkantserova@yandex.ru

Лебедева Дарья Ивановна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: daryal78@mail.ru

Милянчук Николай Петрович

младший научный сотрудник

e-mail: milyanchuk90@mail.ru

Лысенко Людмила Александровна

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: l-lysenko@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Sukhovskaya, Irina

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Tsekova, Albina

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

Kantserova, Nadezhda

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Lebedeva, Daria

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Milyanchuk, Nikolai

Junior Researcher

Lysenko, Liudmila

Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher