

Экологическая физиология и биохимия гидробионтов

УДК 597.554.3-115:597.111.05(285.2)

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА, ПОЛА И ВОЗРАСТА НА ИНДИВИДУАЛЬНУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕЙКОЦИТАРНОЙ ФОРМУЛЫ ЛЕЩА *ABRAMIS BRAMA*, ОБИТАЮЩЕГО В ИВАНЬКОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Т. А. Суворова

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: tanya@ibiw.ru

Поступила в редакцию 14.04.2025

Изучена зависимость соотношения лейкоцитов периферической крови и иммунокомпетентных органов леща *Abramis brama* L., обитающего в Иваньковском водохранилище, от длины, массы, пола и возраста рыбы. В мазках дифференцированы характерные для вида типы клеток: лимфоциты, моноциты/макрофаги, нейтро- и эозинофилы, бластные клетки. Распределение индивидуальных значений форм лейкоцитов для каждого органа имело нормальный характер по критерию хи-квадрат с левосторонней (лимфоциты) и правосторонней асимметрией (нейтрофилы, эозинофилы и бластные клетки). Количество форм лейкоцитов не коррелировало с длиной и возрастом рыб. Различия между самцами и самками наиболее выражены в составе лейкоцитов головной почки: у самцов наблюдалось большее содержание моноцитов, нейтрофилов и эозинофилов, меньшее бластных клеток. В селезенке у самок относительное содержание нейтрофилов и эозинофилов больше, чем у самцов.

Ключевые слова: лещ *Abramis brama*, периферическая кровь, пронефрос, селезенка, лейкоциты, Иваньковское водохранилище.

DOI: 10.47021/0320-3557-2026-55-67

ВВЕДЕНИЕ

Диагностические возможности раннего обнаружения первых признаков неблагоприятных воздействий биотических и абиотических факторов на живой организм наиболее полно реализуются на молекулярном и клеточном уровнях. Система крови в силу своих структурно-функциональных свойств несет информацию о тканях и органах всего организма, она в высокой степени подвержена воздействию внешних факторов и наиболее быстро реагирует на изменения как физиологического статуса организма, так и среды его обитания [Серпунин, 2002 (Serpunin, 2002); Микряков и др., 2021 (Mikryakov et al., 2021); Parish et al., 1986; Yadav et al., 1986]. В систему крови рыб входят периферическая кровь и органы кроветворения, где клетки проходят сложный путь развития от родоначальной стадии до зрелости [Иванова, 1983 (Ivanova, 1983)]. При этом соотношение лейкоцитов периферической крови и иммунокомпетентных органов у рыб может не совпадать в статике, а также не иметь четкой корреляции при эндогенных или экзогенных изменениях физиологического состояния [Лапирова, Заботкина, 2010 (Lapirova, Zabortkina, 2010); Суворова и др., 2021 (Suvorova et al., 2021); Гордеев и др., 2021 (Gordeev et al., 2021)]. Кроме того, соотношение форм лейкоцитов имеет видо- и тканеспецифичный характер и может меняться в норме в зависимости от сезона, а также у диких и одомашненных форм [Modrá et al., 1998; Samai et al., 2018; Križanac et al., 2022].

Для использования показателей иммунитета в качестве критериев здоровья рыб в практике рыбоводства, а также для интегральной характеристики состояния акваторий, необходимо иметь представление об их вариабельности в популяции в естественных условиях среды. Различия в показателях крови можно объективно оценить в модельных экспериментах с использованием контрольных групп рыб. Однако, когда рыба вылавливается в естественных местах обитания, полученные показатели необходимо сравнивать с аналогичными результатами, полученными от того же вида, сезона года и незагрязненных местностей. Этот метод биологического мониторинга, при котором так называемые индикаторные виды рыб, обладающие коммерческой ценностью и легкодоступные для вылова, используется для оценки загрязнения водоемов. Например, в Чешской Республике и Германии в качестве индикаторов для р. Эльбы используются лещ, окунь и ручьевая форель; а для водохранилищ — лещ и окунь [Modrá et al., 1998]. Лещ *Abramis brama* Linnaeus, 1758 по классификации Международного союза охраны природы относится к группе LC, т.е. не вызывающий опасение. Высокая численность вида, важное место в экосистеме водоемов, длительный жизненный цикл и отсутствие протяженных миграций позволяют использовать его в качестве биоиндикатора при осуществлении программ мониторинга экосистем и оценки экологического состояния

водоемов [Савина, 2004 (Savina, 2004); Tenjietal., 2020; Kostić-Vuković et al., 2021]. По типу питания лещ — типичный бентофаг с широким спектром питания: для молоди большое значение играет зоопланктон, крупные особи могут поедать молодь рыб, но основным видом пищи служат донные беспозвоночные — личинки насекомых, моллюски, черви, ракообразные и др. [Атлас..., 2002 (Atlas..., 2002)]. Ивановское водохранилище (ИВ) (56°47'52" с.ш. 36°53'46" в.д.) — рыбохозяйственный водный объект высшей категории, расположено на территории Тверской обл. По рыбопромысловой классификации ИВ — водоем лещового типа; относится к мелководным водохранилищам долинного типа с озерно-речным гидрологическим режимом, высоким коэффициентом водообмена и зимней сработкой уровня воды. Площадь водохранилища 327 км², береговая линия сильно изрезана, с большим количеством мелководных заливов и островов. По продуктивности — относится к водоемам мезотрофно-эвтрофного типа, по количественному развитию бентоса — к водоемам выше средней кормности [Корнева и др., 2018 (Korneva et al., 2018); Перова и др., 2018 (Perova et al., 2018)]. Отличительная особенность водоема — высокие величины, характеризующие развитие планктона и бентоса, превышающие аналогичные показатели других водохранилищ Волги [Саппо, 1976 (Sappo, 1976); Ивановское..., 1978 (Ivankovskoe..., 1978); Житенева, 1998 (Zhiteneva, 1998); Минеева и др., 2022 (Mineeva et al., 2022)]. По удельному комбинаторному индексу загрязненности качество воды Ивановского водохранилища соответствует классам от “грязная” до “очень загрязненная”. По значениям БПК₅ вода характеризуется как “умеренно загрязненная” [Григорьева и др., 2019 (Grigoreva, 2019)]. Донные отложения ИВ загрязнены тяжелыми металлами, нефтепродуктами и полиароматическими углеводородами, с 1987 г. антропогенное воздействие снижается, в настоящее время

по уровню антропогенной нагрузки ИВ уступает расположенным ниже Угличскому и Рыбинскому водохранилищам [Бреховских и др., 2006 (Brekhovskikh et al., 2006)]. Современная популяция леща ИВ образовалась из речной популяции, обитавшей ранее на участке р. Волги до строительства плотины. С начала образования ИВ лещ доминировал в промысловых уловах до 1952 г., когда было выловлено 285 т леща (33.7% общего вылова) [Ковалева, 1964 (Kovaleva, 1964)]. После запрета мелкочейного неводного лова доля леща упала до 7.3% и восстановилась к 1959 г. до 213 т (67.9% общего вылова). После введения запрета на промысловый лов в 2007 г. и до настоящего времени промысловое стадо леща подвержено влиянию только любительского рыболовства и браконьерства — они изымают не более 1% промыслового запаса [Горячев и др., 2021 (Goryachev et al., 2021); Юрова, Сударев, 2022 (Yurova, Sudarev, 2022)]. В Ивановском водохранилище обитает жилая форма леща, не совершающая длительных миграций, использующая для икрометания мелководные, заросшие растительностью прибрежные участки. Средняя продолжительность жизни составляет 13–14 лет [Горячев и др., 2021 (Goryachev et al., 2021)]. Предыдущие определения лейкоцитарной формулы у леща показали ее изменения в зависимости от сезона, температуры воды, степени загрязнения водоема, паразитарной инвазии и степени зрелости гонад [Кузина, 2011 (Cousina, 2011); Lapirova, Zobotkina, 2018; Suvorova, German, 2024]. Вместе с этим индивидуальная изменчивость лейкоцитарной формулы леща в зависимости от биометрических показателей до настоящего времени не была предметом специального изучения.

Цель нашей работы — изучить возможную связь между размером, возрастом, полом леща и соотношением различных форм лейкоцитов в иммунокомпетентных органах — пролиферации, селезенке и периферической крови.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили особи леща, выловленные в Ивановском водохранилище с борта научно-исследовательского судна “Академик Топчиев” в ходе комплексной гидробиологической экспедиции на водохранилищах Верхней Волги в августе 2020 и 2021 гг.

Рыбу отлавливали донным тралом конструкции ГосНИОРХ с горизонтальным раскрытием 18 м, вертикальным раскрытием 2 м и ячеей в кутке 22 мм. Температура воды в поверхностном и придонном слоях колебалась

в пределах от +22°C до +23°C. Продолжительность траления — 30 мин, количество отобранных рыб после подъема каждого трала — не более пяти.

Всего было исследовано 45 экз. средней длиной 34.06±0.52 см и массой 639.46±27.49 г. Перед отбором проб проводили визуальное обследование кожных покровов, плавников, ротовой полости, жабр, внутренних органов каждой рыбы на наличие видимых паразитов и признаков патологии. После измерения длины и массы тела из хвостовой вены посредством

каудоэктомии отбирали кровь. Каплю крови наносили на обезжиренное предметное стекло, делали мазок. Затем рыбу обездвиживали путем надлома позвоночного столба у основания головы. После этого вскрывали брюшную полость, определяли пол и стадию зрелости рыб, препарировали почку и селезенку, определяли их массу с точностью до 0.01 г. Для определения возраста рыб отбирали чешую в средней части тела между боковой линией и спинным плавником. Мазки-отпечатки головной почки и селезенки делали со среза исследуемого органа. Для получения отпечатков органов, исследуемых на гемопоэз, брали небольшое количество ткани из разных частей исследуемого органа. Полученный кусочек промывали в физрастворе, осушали с помощью фильтровальной бумаги, затем по линии разреза многократно прикладывали к предметному стеклу [Иванова, 1983 (Ivanova, 1983)]. После этого препараты высушивали, фиксировали в 96%-ном этаноле, в лабораторных условиях окрашивали по Романовскому–Гимзе. Микроскопическое исследование мазков проводили под световым микроскопом Биомед-6ПР1-ФК с использованием иммерсионного объектива ($\times 1000$). В каждом препарате анализировали 200 лейкоцитов, идентифицировали их по классификации Ивановой [1983 (Ivanova, 1983)]: дифференцировали лимфоциты, моноциты/макрофаги, сегменто- и палочкоядерные нейтрофилы, эозинофилы и бластные клетки. Для определения индекса обилия лейкоцитов, или частоты

встречаемости клеток белой крови, в мазке периферической крови просматривали 100 полей зрения на различных участках препарата при увеличении $\times 400$. В каждом поле зрения подсчитывали количество встреченных лейкоцитов, эти данные суммировали и делили на 100, получая среднее число в одном поле зрения. Показатель индекса обилия лейкоцитов позволяет регистрировать интенсивность лейкопоэза и косвенно оценивать уровень содержания лейкоцитов в единице объема крови [Микряков, Лапинова, 1997 (Mikryakov, Lapirova, 1997)].

Фотографии клеток выполняли с использованием Digital Microscope EVENCE VHX-1000 ("Keyence", Japan).

Статистическую обработку результатов исследования проводили по стандартным алгоритмам, реализованным в пакете программ STATISTICA 12.0, с использованием t -теста. Различия считали значимыми при $p \leq 0.05$. Результаты в таблицах представлены в виде средних и стандартных ошибок ($M \pm m$). Аналитические данные, представленные как среднее \pm стандартное отклонение (DS), представляют собой средние значения трех анализов, проведенных одним и тем же оператором. При помощи одновыборочного критерия Шапиро-Уилка определяли, являются ли данные нормально распределенными. По линейному регрессионному анализу (коэффициент корреляции Пирсона) оценивали взаимосвязь между биометрическими показателями (общая длина тела и масса тела) и показателями крови.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В мазках периферической крови и иммунокомпетентных органов исследованных лещей обнаружены типичные для большинства видов рыб типы лейкоцитов и различное содержание отдельных пулов в исследуемых тканях и органах (табл. 1).

Лимфоциты — клетки размером (большие 4.97 ± 0.25 мкм, малые 3.85 ± 0.24), основную часть клетки занимает ядро с большим количеством конденсированного гетерохроматина (см. рисунок а). Моноциты — клетки размером 11.01 ± 1.46 мкм, ядро расположено эксцентрично, гетерохроматин слабо концентрирован, ядрышко хорошо выражено (см. рисунок б). Нейтрофилы — клетки размером 7.02 ± 0.56 (7.22×4.94) мкм, ядро бобовидной (см. рисунок с) или сегментовидной (см. рисунок d) формы расположено эксцентрично, гетерохроматин сконцентрирован по периферии ядра, цитоплазма почти полностью занята специфическими гранулами размером 0.37 ± 0.01 мкм (0.57×0.15). Эозинофилы — клетки округлой формы размером 8.06 ± 0.77 (7.96×6.54) мкм,

округлое, серповидное или рассеченное на сегменты ядро расположено эксцентрично, гетерохроматин расположен как в центре, так и на периферии ядра, цитоплазма содержит множество округлых, электронно-плотных гранул гомогенной структуры размером 1.20×0.57 мкм (см. рисунок е). Бластные клетки — юные незрелые формы клеток диаметром 12.6 – 15.6 мкм, основную часть занимает округлое ядро, узкий слой цитоплазмы резко базофилен (см. рисунок f).

Длина, масса, возраст рыб и содержание различных форм лейкоцитов представлены в таблице 1. Длина рыб колебалась от 239 до 374 мм, масса — от 255 до 1111 г, возраст — от 6 до 17 полных лет. Выборка состояла из 29 самок, из них 7 неполовозрелых и 16 самцов, из них 3 неполовозрелых. В гонадах половозрелых самок средний диаметр ооцитов составлял 0.48 мм (от 0.33 до 0.52 мм), что соответствует III стадии зрелости [Андреева, 1983 (Andreeva, 1983)]. Половозрелые самцы имели по сравнению с неполовозрелыми утолщенные

Таблица 1. Биометрические показатели и содержание лейкоцитов**Table 1.** Biometric indicators and leukocyte content

Параметры / Parameters	Вариабельность / Variability	M±m
Биометрические / Biometrics:		
Длина, мм / Length, mm	239–374	313±0.49
Масса, г / Weight, g	255–1111	639±27.64
Возраст, г. / Age, g.	6–17	10.2±0.36
Клеточные / Cellular:		
Пронефрос / Pronephros		
Лимфоциты / Lymphocytes	65.0–91.5	80.5±0.92
Моноциты / Monocytes	0–11.50	5.24±0.40
Нейтрофилы / Neutrophils	0–16.50	3.68±0.47
Эозинофилы / Eosinophils	0–2.00	0.23±0.08
Бластные клетки / Blast cells	3.0–29.00	10.38±0.86
Селезенка / Spleen		
Лимфоциты / Lymphocytes	74.5–97.0	89.1±0.78
Моноциты / Monocytes	0–11.0	3.88±0.38
Нейтрофилы / Neutrophils	0–10.0	2.32±0.35
Эозинофилы / Eosinophils	0–4.0	0.58±0.13
Бластные клетки / Blast cells	0–17.0	4.14±0.47
Кровь / Blood		
Лимфоциты / Lymphocytes	82.5–98.0	91.5±0.57
Моноциты / Monocytes	0–11.5	4.21±0.37
Нейтрофилы / Neutrophils	0–5.0	1.68±0.20
Эозинофилы / Eosinophils	0–3.0	0.78±0.12
Бластные клетки / Blast cells	0–8.0	1.80±0.26

непрозрачные гонады, соответствующие III стадии зрелости [Сакун, Буцкая, 1963 (Sakun, Butskaya, 1963)].

Содержание лимфоцитов варьировало от 65 до 98%, среднее количество возрастало в ряду: почка (80.5%) → селезенка (89.1%) → кровь (91.5%). Содержание моноцитов варьировало от 0 до 11.5%, среднее количество возрастало в ряду: селезенка (3.9%) → кровь (4.2%) → почка (5.2%). Нейтрофилы обнаружены у 93% рыб, среднее количество возрастало в ряду: кровь (1.7%) → селезенка (2.6%) → почка (3.7%). Эозинофилы обнаружены у 69% рыб, среднее количество возрастало в ряду: почка (0.2%) → селезенка (0.6%) → кровь (0.8%). Содержание бластных клеток варьировало от 0 до 29%, среднее количество возрастало в ряду: кровь (1.8%) → селезенка (4.1%) → почка (10.4%). Величина отношения нейтрофилов к лимфоцитам варьировала от 0.005 до 0.250, среднее значение возрастало в ряду: кровь (0.019) → селезенка (0.027) → почка (0.047). Индекс обилия лейкоцитов в крови

варьировал в широких пределах: от 70 до 203, составляя в среднем 144 ед. в поле зрения.

Распределение индивидуальных значений форм лейкоцитов для каждого органа имело нормальный характер по критерию хи-квадрат с левосторонней (лимфоциты) и правосторонней асимметрией (нейтрофилы, эозинофилы и бластные клетки). Не выявлено значимой корреляции количества лимфоцитов между органами в пределах одной особи. Отсутствовала корреляция между количеством форм лейкоцитов и длиной, массой и возрастом рыб (табл. 2).

Не выявлено достоверных различий между неполовозрелыми и половозрелыми особями одного пола. Различия между самцами и самками наиболее выражены в составе лейкоцитов почки рыб (табл. 3). Так, у самцов наблюдалось повышенное содержание моноцитов, нейтрофилов и эозинофилов, но меньшее содержание бластных клеток по сравнению с самками. В селезенке, напротив, относительное содержание нейтрофилов и эозинофилов больше у самок.

Таблица 2. Коэффициент корреляции**Table 2.** Correlation coefficient

Параметры / Parameters	R ²		
	Длина / Length	Масса / Weight	Возраст / Age
Пронефрос / Pronephros			
Лимфоциты / Lymphocytes	0.02	0.02	0.04
Моноциты / Monocytes	0.12	0.18	0.07
Нейтрофилы / Neutrophils	0.03	<0.01	0.02

Параметры / Parameters	R ²		
	Длина / Length	Масса / Weight	Возраст / Age
Эозинофилы / Eosinophils	<0.01	<0.01	<0.01
Бластные клетки / Blast cells	0.01	<0.01	0.03
Селезенка / Spleen			
Лимфоциты / Lymphocytes	<0.01	<0.01	<0.01
Моноциты / Monocytes	0.01	<0.01	<0.01
Нейтрофилы / Neutrophils	0.03	0.03	0.03
Эозинофилы / Eosinophils	<0.01	0.02	<0.01
Бластные клетки / Blast cells	<0.01	0.01	<0.01
Кровь / Blood			
Лимфоциты / Lymphocytes	0.01	0.03	0.03
Моноциты / Monocytes	0.01	<0.01	0.01
Нейтрофилы / Neutrophils	0.03	0.03	0.03
Эозинофилы / Eosinophils	0.06	0.02	0.03
Бластные клетки / Blast cells	0.05	0.07	0.05

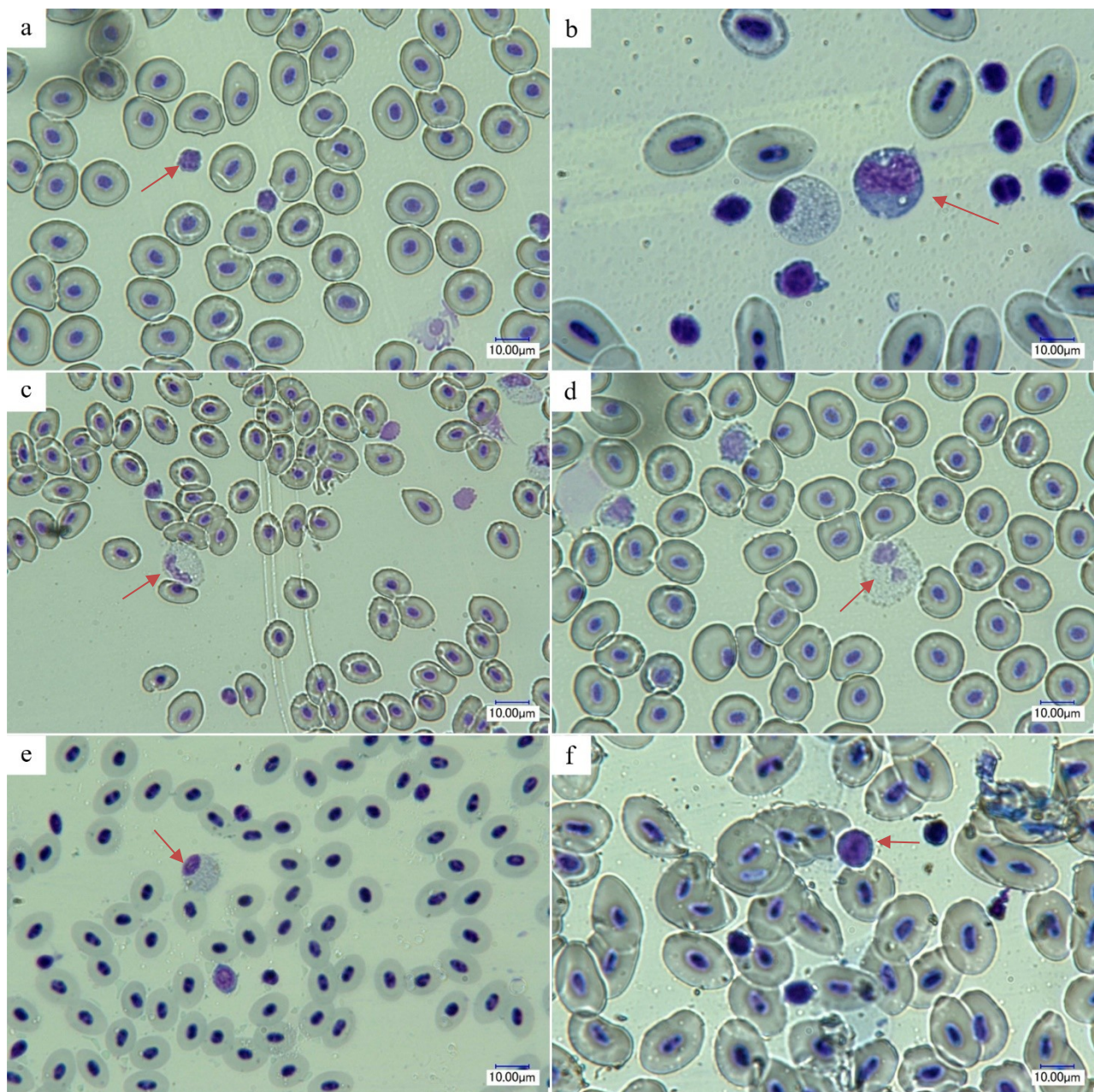


Рисунок. а — лимфоцит, б — моноцит, с — палочкоядерный нейтрофил, d — сегментоядерный нейтрофил, е — эозинофил, f — бластная клетка.

Figure. a — lymphocyte, b — monocyte, c — rod-nuclear neutrophils, d — segmented-nuclear neutrophils, e — eosinophil, f — blast cell.

Таблица 3. Соотношение лейкоцитов, %

Table 3. Leukocyte ratio, %

Параметры / Parameters	Самцы / Males, n = 16	Самки / Females, n = 29
Пронефрос / Pronephros		
Лимфоциты / Lymphocytes	80.5±1.20	80.4±1.43
Моноциты / Monocytes	6.3±0.61	4.7±0.51
Нейтрофилы / Neutrophils	4.1±1.03	3.4±0.47
Эозинофилы / Eosinophils	0.4±0.18	0.14±0.06
Бластные клетки / Blast cells	8.8±0.91	11.3±1.22
Селезенка / Spleen		
Лимфоциты / Lymphocytes	89.4±1.40	88.9±0.96
Моноциты / Monocytes	3.8±0.63	3.9±0.49
Нейтрофилы / Neutrophils	1.8±0.44	2.6±0.48
Эозинофилы / Eosinophils	0.4±0.13	0.7±0.18
Бластные клетки / Blast cells	4.5±1.02	3.9±0.48
Кровь / Blood		
Лимфоциты / Lymphocytes	91.8±0.83	91.3±0.76
Моноциты / Monocytes	4.2±0.50	4.2±0.52
Нейтрофилы / Neutrophils	1.9±0.43	1.5±0.21
Эозинофилы / Eosinophils	0.8±0.19	0.8±0.16
Бластные клетки / Blast cells	1.2±0.31	2.1±0.31

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ соотношения лейкоцитов в периферической крови и иммунокомпетентных органах леща показал, что характеристика клеточного состава белой крови исследованных особей характерна для данного вида, принципиально не отличается от ранее полученных данных [Иванова, 1983 (Ivanova, 1983); Кейстер, 2007 (Keister, 2007); Лапирова, Флерова, 2015 (Lapirova, Flerova, 2015); Suvorova, German, 2024; Modrá et al., 1998] и не выходит за пределы условной “нормы” [Кузина, 2011 (Cousina, 2011)]. Так как кровь леща имеет лимфоидный характер, большую часть иммунокомпетентных клеток в крови и органах составляют лимфоциты, которые у позвоночных считаются центральной фигурой иммунной системы [Петров, 1987 (Petrov, 1987); Хаитов и др., 2002 (Khaitov et al., 2002); Scapigliati, 2013]. Они осуществляют функции распознавания чужеродных тел, разрушения антигена, синтеза антител, образования предшественников антителообразующих клеток, клеток памяти, формирования специфического иммунитета и адаптации рыб к паразитам и токсическим факторам [Микряков и др., 2001 (Mikryakov et al., 2001)]. Моноциты — активные фагоциты крови, поглощают продукты распада клеток и тканей, принимают участие в регуляции иммуно- и гранулопоэза, влияют на миграционные свойства нейтрофилов. Существует также мнение о способности моноцитов инактивировать токсины [Житенева и др., 1989 (Zhiteneva et al., 1989)]. Увеличение их количества в крови свидетельствует об усилении неспецифической защиты организма. Центральным звеном врожденного клеточного

иммунитета служат фагоцитирующие лейкоциты (нейтрофильные и эозинофильные гранулоциты), главная функция которых в организме — антимикробная защита. Основную массу гранулоцитарных клеток составляли палочкоядерные нейтрофилы. Нейтрофилы поглощают зараженные клетки при первом контакте с ними или разрушают их путем выделения токсических кислородных метаболитов. В то время как у млекопитающих нейтрофилы представляют собой наиболее заметный пул лейкоцитов в кровотоке, у костистых рыб, кроме радужной форели, они составляют менее 5% циркулирующих лейкоцитов (табл. 3) [Hamdani et al., 1998; Sasaki et al., 2002; Rey Vazquez, Guerrero, 2007; Katzenback, Belosevic, 2009]. Эозинофильные гранулоциты принимают активное участие в аллергических реакциях анафилактического типа. Необходимость присутствия лейкоцитов в периферической крови вызывается поступлением в кровь чужеродных агентов. Низкая доля этих клеток (табл. 3) указывает, что указанные механизмы защиты не были активированы. В лейкоцитарной формуле мазков крови и мазков-отпечатков гемопоэтических органов рыб учитываются также юные незрелые, или бластные, формы клеток, которые, подобно таковым у высших позвоночных, в дальнейшем замещают зрелые клетки в тканях и органах иммунной системы. Их доля в лейкограмме пресноводных видов составляет до 10% [Головина, Тромбицкий, 1989 (Golovina, Trombitsky, 1989); Иванова, 1983 (Ivanova, 1983)], что особенно проявляется в мазках-отпечатках гемопоэтических органов (табл. 3).

О высокой интенсивности лейкопоэза косвенно свидетельствует и используемый в наших исследованиях показатель индекса обилия лейкоцитов, который дает представление о функциональном состоянии гемо- и иммунопозитивной ткани [Микряков, Лапирова, 2007 (Mikryakov, Lapirova, 2007)].

Детоксикация загрязняющих веществ, при их хроническом поступлении в организм, осуществляется в основном иммунокомпетентными органами, поэтому направленность сдвига соотношения лейкоцитов в периферической крови и органах различна [Экологические..., 2001 (Ekologicheskie..., 2001); Лапирова, Заботкина, 2010 (Lapirova, Zobotkina, 2010)]. В нашем исследовании в головной почке и селезенке также отмечено различие соотношения количества типов клеток по сравнению с периферической кровью. Головной отдел почек (пронефрос) у костистых рыб — основной орган лимфо- и гранулопоэза, эквивалентный костному мозгу млекопитающих, содержит кроветворную ткань, эндокринные и иммунные клетки [Светашева и др., 2019 (Svetasheva et al., 2019); Zapata, 1979; Zapata and Amemiya, 2000]. Также передний отдел почек обладает необходимыми элементами для осуществления эндцитоза [Uribe et al., 2011]. Функционально-активных иммунокомпетентных клеток в почках концентрируется значительно больше, чем в других органах: в мазках-отпечатках головной почки значительный процент принадлежит бластным клеткам, макрофагам и нейтрофилам, что соответствует структурно-функциональной организации органа и подтверждается литературными данными [Микряков, Балабанова, 1979 (Mikryakov, Balabanova, 1979); Hamdani et al., 1998; Sasaki et al., 2002; ReyVazquez, Guerrero, 2007; Katzenback, Belosevic, 2009; Navixbeck et al., 2016]. Основу иммунокомпетентных клеток селезенки составляют эндотелиоциты кровеносных сосудов, иммуноциты на разных этапах дифференцировки, гранулоциты и клетки мелано-макрофагального ряда [Иванова, 1983 (Ivanova, 1983)]. Селезенка также обладает фагоцитарной активностью в отношении микробов и старых клеток крови, разрушении и элиминации иммунных комплексов, служит “депо” эритроцитов [Fänge, Nilsson, 1985; Ellis, 1988; Noga, 2006; Lewis et al., 2019]. Распределение по типам лейкоцитов в селезенке лещей было аналогичным пронефросу, но отличалось количественно (табл. 3). Периферическая кровь, непрерывно циркулируя по системе замкнутых сосудов, постоянно омывает ткани, органы и

системы органов, служит транзитом иммунокомпетентных клеток, в котором проявляется суммарный эффект изменения активности иммунной системы [Иванова, 1989 (Ivanova, 1983)]. Под влиянием внешних и внутренних факторов в каждый последующий момент морфологический состав периферической крови постоянно меняется. Одни форменные элементы проникают в различные органы и ткани, отмирают, другие из кроветворных тканей и органов поступают в кровь. Сравнение доли различных типов клеток ретикуло-лимфоидной ткани у лещей, обитающих в Ивановском водохранилище, позволяет предположить, что их защитные механизмы не были активированы. Широкое морфологическое разнообразие клеточных элементов белой крови свидетельствует о хороших адаптационных возможностях поддержания гомеостаза.

Результаты работы показывают, что различия по возрасту и размерам рыб не являются источником варибельности лейкоцитарной формулы в головной почке, селезенке и крови леща Ивановского водохранилища. Неравное соотношение полов в выборке может быть причиной изменений среднего количества моноцитов, нейтрофилов и эозинофилов в почке и селезенке рыб, в то время как состав лейкоцитарной формулы крови практически одинаков у обоих полов. Из анализа литературных данных известно, что количество различных типов лейкоцитов не зависело от пола или стадии зрелости у плотвы *Rutilus rutilus* [Vainikka et al., 2004], голавля *Leuciscus cephalus* [Lamková et al., 2007] и шести средиземноморских видов рыб [Pavlidis et al., 2007]. При этом наблюдались некоторые различия в максимальном диаметре клеток [Pavlidis et al., 2007]. Меньшее количество лимфоцитов и большее моноцитов, и, особенно, гранулоцитов, у самок карпа (*Cyprinus carpio* L.) отмечали Карим с соавторами [Karim et al., 2019]. Модра с соавторами обнаружили одинаковый процентный состав разных форм лейкоцитов у леща разного возраста [Modrá et al., 1998], тогда как другие авторы отмечали повышенный уровень фоновой пролиферации лимфоцитов у старших возрастов малоротого окуня *Micropterus dolomieu* [Smith et al., 2020]. Не было найдено зависимости лейкоцитарной формулы крови от биометрических показателей (длины и массы) у полосатого окуня *Morones axatilis* [Fazio et al., 2020], от длины бразильского морского окуня *Pinguipes brasiliensis*, патагонского морского окуня *Sebastes oculatus* [Sueiro et al., 2020] и карпа *Cyprinus carpio* [Karim et al., 2019].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное исследование показало, что различия по возрасту и размерам рыб не являются источником вариабельности лейкоцитарной формулы в головной почке, селезенке и крови леща, обитающего в Ивановском водохранилище. Не выявлено значимой корреляции количества лимфоцитов между органами в пределах одной особи. Отсутствовала зависимость между количеством форм лейкоцитов и длиной, массой и возрастом рыб. Не выявлено достоверных различий между неполовозрелыми и половозрелыми особями одного пола.

Различия между самцами и самками наиболее выражены в составе лейкоцитов головной почки. Так, в пронефрозе у самцов наблюдалось повышенное содержание моноцитов, нейтрофилов и эозинофилов, но меньшее содержание бластных клеток по сравнению с самками. В селезенке напротив, относительное содержание нейтрофилов и эозинофилов больше у самок, чем у самцов. Обнаруженные отличия исследуемых показателей, вероятно, обусловлены влиянием экологических факторов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность старшему научному сотруднику лаборатории иммунологии, к.б.н. Герману А.В. за помощь в сборе и обработке материала.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания № 124032500015-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева А.М. Оогенез леща *Abramis brama* (L.) (Cyprinidae) Рыбинского водохранилища // Вопр. ихтиологии. 1983. Т. 23. Вып. 2. С. 257–261.
- Атлас пресноводных рыб России. Т. 1. М.: Наука, 2002. 379 с.
- Басова М.М. Лейкоцитарная формула морского ерша *Scorpaena porcus* как биомаркер антропогенного загрязнения прибрежных вод Черного моря // Вопр. ихтиологии. 2017. Т. 57, № 3. С. 347–352. DOI: 10.7868/S004287521703002X.
- Бреховских В.Ф., Казмирук Т.Н., Казмирук В.Д. Донные отложения Ивановского водохранилища: состояние, состав, свойства. М.: Наука, 2006. 176 с.
- Головина Н.А., Тромбицкий И.Д. Гематология прудовых рыб. Кишинев: Штиинца, 1989. 155 с.
- Гордеев И.И., Балабанова Л.В., Суворова Т.А. и др. Состав лейкоцитов периферической крови и иммунокомпетентных органов белого гольца озера Кроноцкое (Камчатка) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2021. № 9(188). С. 42–49. DOI: 10.33920/sel-09-2109-04.
- Горячев Д.В., Никитенко А.И., Клец Н.Н. и др. Состояние запасов водных биологических ресурсов Ивановского и Угличского водохранилищ // Вопр. рыболовства. 2021. Т. 22, № 1. С. 25–37. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-1-25-37.
- Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарева Е.А. Современное состояние, источники загрязнения и возможные пути реабилитации Ивановского водохранилища и его притоков // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: Сборник научных трудов, Нижний Новгород, 08–14 сентября 2019 г. Нижний Новгород: Студия Ф1, 2019. С. 332–336.
- Житенева Л.Д., Полтавцева Т.Г., Рудницкая О.А. Атлас нормальных и патологически измененных клеток крови рыб: справочник. Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1989. 112 с.
- Житенева Т.С. Особенности экологии леща *Abramis brama* L. на этапах и переходных периодах развития в связи с проблемой его роста в Ивановском водохранилище // Биол. внутр. вод. 1998. № 1. С. 55–61.
- Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 184 с.
- Иваньковское водохранилище и его жизнь (под ред. Н.В. Буторина). Л.: Наука, 1978. 304 с.
- Кейстер И.А. Динамика показателей крови рыб как показатель состояния ихтиофауны Белого озера (Вологодская область) // Журн. науч. публикаций аспирантов и докторантов. 2007. № 12 (<http://jurnal.org/articles/2007/bio6.html>. Version 03/2022).
- Ковалева М.П. Техника промышленного рыболовства на Ивановском водохранилище // Изв. ГосНИОРХ. 1964. Т. 56. С. 42–70.
- Корнева Л.Г., Соловьева В.В., Макарова О.С. и др. Распределение планктона в волжских водохранилищах летом 2015 г. // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2018. Вып. 82(85). С. 21–27. DOI: 10.24411/0320-3557-2018-1-0010.
- Кузина Т.В. Цитофизиологические особенности крови промысловых рыб Волго-Каспийского канала. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2011. 25 с.
- Лапирова Т.Б., Заботкина Е.А. Сравнительный анализ показателей иммунофизиологического состояния леща *Abramis brama* (L.) из различных по степени загрязнения участков Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод. 2010. № 2. С. 86–91. DOI: 10.1134/S1995082910020136.
- Лапирова Т.Б., Флерова Е.А. Физиолого-биохимическая характеристика крови леща (*Abramis brama* L.) Рыбинского водохранилища // Вестник Мичуринского ГАУ. 2015. № 2. С. 83–88.

- Микряков В.Р., Балабанова Л.В. Основы клеточного иммунитета у рыб // Физиология и паразитология пресноводных животных. Л.: Наука, 1979. С. 105–124.
- Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А. и др. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука, 2001. 126 с.
- Микряков В.Р., Лапирова Т.Б. Влияние солей некоторых тяжелых металлов на состав белой крови молоди ленского осетра *Acipenser baeri* // Вопр. ихтиологии. 1997. Т. 37, № 4. С. 538–542.
- Микряков В.Р., Терещенко В.Г., Микряков Д.В. Опыт применения интегрального индекса для оценки дестабилизационных процессов в иммунной системе рыб // Биол. внутр. вод. 2021. № 3. С. 311–320. DOI: 10.31857/S0320965221030104.
- Минеева Н.М., Семадени И.В., Соловьева В.В., Макарова О.С. Содержание хлорофилла и современное трофическое состояние водохранилищ р. Волги (2019–2020 гг.) // Биол. внутр. вод. 2022. № 4. С. 367–371. DOI: 10.31857/S0320965222040210.
- Никаноров Ю.И. Ивановское и Угличское водохранилище // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1984. Вып. 210. С. 4–12.
- Перова С.Н., Пряничникова Е.Г., Жгарева Н.Н., Зубишина А.А. Таксономический состав и обилие макрозообентоса волжских водохранилищ // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2018. Вып. 82(85). С. 52–66. DOI: 10.24411/0320-3557-2018-1-0012.
- Петров Р.В. Иммунология. М.: Медицина, 1987. 416 с.
- Савина Л.В. Использование гематологических показателей рыб для оценки новой кормовой добавки МИК БАК и экологического состояния естественных водоемов. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Калининград, 2004. 24 с.
- Сакун О.Ф., Буцкая Н.А. Определение стадий зрелости и изучение половых циклов рыб. М.: Рыбное хозяйство, 1963. 35 с.
- Саппо Г.Б. Биология, запасы леща Ивановского водохранилища и влияние на них сбросных вод Конаковской ГРЭС. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ленинград, 1976. 25 с.
- Светашева Д.Р., Грушко М.П., Нгуен Т.Х.В. Развитие и функциональная организация центральных органов гемопоэза личинок леща обыкновенного (*Abramis brama* (L.)) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 3. С. 125–131. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-3-125-131.
- Серпунин Г.Г. Гематологические показатели адаптаций рыб. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Калининград, 2002. 49 с.
- Суворова Т.А., Пронина Г.И., Микряков Д.В. Состав лейкоцитов периферической крови и иммунокомпетентных органов кросса карпа “Петровский” в разные периоды рыбоводного сезона // Рыбоводство и рыб. хоз-во. 2021. № 1. С. 58–68. DOI: 10.33920/sel-09-2101-05.
- Хайтов Р.М., Игнатьева Г.А., Сидорович И.Г. Иммунология: Учебник. М.: Медицина, 2002. 536 с.
- Экологические проблемы Верхней Волги (под ред. Копылова А.И.). Ярославль: ЯГТУ, 2001. 427 с.
- Юрова О.В., Сударев Н.П. Природное и антропогенное влияние на популяцию леща в Ивановском водохранилище // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 2(39). С. 79–85. DOI: 10.35523/2307-5872-2022-39-2-79-85.
- Ellis A.E. Ontogeny of the Immune System in Teleost Fish // Fish Vaccination. 1988. P. 20–31.
- Fänge R., Nilsson S. The fish spleen: structure and function // Experimentia. 1985. Vol. 41, № 2. P. 152–158.
- Fazio F., Lanteri G., Saoca C. et al. Individual variability of blood parameters in striped bass *Morone axatilis*: possible differences related to weight and length // Aquaculture International. 2020. Vol. 28. P. 1665–1673. DOI: 10.1007/s10499-020-00550-z.
- Hamdani S.H., McMillan D.N., Pettersen E.F. et al. Isolation of rainbow trout neutrophils with an anti-granulocyte monoclonal antibody // Vet. Immunol. Immunopathol. 1998. Vol. 63. P. 369–380.
- Havixbeck J.J., Rieger A.M., Wong M.E. et al. Neutrophil contributions to the induction and regulation of the acute inflammatory response in teleost fish // J. Leukoc. Biol. 2016. Vol. 99, № 2. P. 241–252. DOI: 10.1189/jlb.3HI0215-064R.
- Karim B., Yousria G., Wyllia Kh. Influence of total length, sex and seasonal variations on hematological parameters in *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) (Pisces Cyprinidae) in Lake Tonga (Algeria) // Biodivers. J. 2019. Vol. 10(4). P. 593–600. DOI: 10.31396/Biodiv.Jour.2019.10.4.593.600.
- Katzenback B.A., Belosevic M. Isolation and functional characterization of neutrophil-like cells, from goldfish (*Carassius auratus* L.) kidney // Dev. Comp. Immunol. 2009. Vol. 33, № 4. P. 601–611. DOI: 10.1016/j.dci.2008.10.011.
- Kostić-Vuković J., Kolarević S., Kračun-Kolarević M. et al. Temporal variation of biomarkers in common bream *Abramis brama* (L., 1758) exposed to untreated municipal wastewater in the Danube River in Belgrade, Serbia // Environ. Monit. Assess. 2021. Vol. 193(8). P. 465. DOI: 10.1007/s10661-021-09232-6.
- Križanac S., TopićPopović N., Barišić J. et al. Comparative Study of Physiological Changes in Turbot *Scophthalmus maximus* in Different Living Conditions // Appl. Sci. 2022. Vol. 12(9). P. 4201. DOI: 10.3390/app12094201.
- Lamkova K., Simkova A., Palikova M. et al. Seasonal changes of immunocompetence and parasitism in chub (*Leuciscus cephalus*), a freshwater cyprinid fish // Parasitol. Res. 2007. Vol. 101. P. 775–789. DOI: 10.1007/s00436-007-0546-3.
- Lapirova T.B., Zobotkina E.A. Effect of trypanosomiasis on hematologic characteristics of bream (*Abramis brama*) // Regul. Mech. Biosyst. 2018. Vol. 8(3). P. 309–314. DOI: 10.15421/021845.
- Modra H., Svobodova Z., Kolafova I. Comparison of Differential Leukocyte Counts in Fish of Economic and Indicator Importance // Acta Vet. Brno. 1998. Vol. 67. P. 215–226. DOI: 10.2754/avb199867040215.
- Noga E.J. Spleen, thymus, reticulo-endothelial system, blood // Systemic pathology of fish. A text and atlas of normal tissues in teleosts and their responses in disease. London: Scotian Press. 2006. 121 p.

- Parish N., Wrathmell A., Hart S., Harris J. The leucocytes of the elasmobranch *Scyliorhinus vanicula* L. A morphological study // *J. Fish. Biol.* 1986. Vol. 28, № 5. P. 545–561. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1986.tb05192.x.
- Pavlidis M., Futter W.C., Kathario P., Divanach P. Blood cells of six Mediterranean mariculture fish species // *J. Appl. Ichthyology*. 2007. Vol. 23. P. 70–73. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00771x.
- Rey Vazquez G., Guerrero G.A. Characterization of blood cells and hematological parameters in *Cichlasoma dimerus* (Teleostei, Perciformes) // *Tissue Cell*. 2007. Vol. 39. P. 151–160. DOI: 10.1016/j.tice.2007.02.004.
- Samai H.C., Rioult D., Bado-Nilles A. et al. Procedures for leukocytes isolation from lymphoid tissues and consequences on immune endpoints used to evaluate fish immune status: A case study on roach (*Rutilus rutilus*) // *Fish and Shellfish Immunol.* 2018. Vol. 74. P. 643–657. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.12.040.
- Sasaki Y., Maita M., Okamoto N. Rainbow trout neutrophils are responsible for non-specific cytotoxicity // *Fish Shellfish Immunol.* 2002. Vol. 14. P. 243–252. DOI: 10.3390/biology4040715.
- Scapigliati G. Functional aspects of fish lymphocytes // *Dev. Comp. Immunol.* 2013. Vol. 41, № 2. P. 200–208. DOI: 10.1016/j.dci.2013.05.012.
- Smith C.R., Ottinger C.A., Walsh H.L., Blazer V.S. Development of a suite of functional immune assays and initial assessment of their utility in wild smallmouth bass health assessments. Reston: U.S. Geological Survey, 2020. Open-File Report 2020–1077. 23 p. DOI: 10.3133/ofr20201077.
- Sueiro M.C., Awruch C., Gilardoni C. et al. Immunity and health of two wild marine fishes naturally exposed to anthropogenic pollution // *Sci. Total Env.* 2020. Vol. 726. P. 138–303. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138303.
- 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 // *J. Ichthyol.* 2024. Vol. 64, № 2. P. 352–356. DOI: 10.1134/S0032945224020140.
- Tenji D., Micic B., Sipos S. et al. Fish biomarkers from a different perspective: evidence of adaptive strategy of *Abramis brama* (L.) to chemical stress // *Environ. Sci. Eur.* 2020. Vol. 32, № 1. P. 38. DOI: 10.1186/s12302-020-00316-7.
- Uribe C., Folch H., Enriquez R., Moran G. Innate and adaptive immunity in teleost fish: A review // *Vet. Med.* 2011. Vol. 56, № 10. P. 486–503. DOI: 10.17221/3294-VETMED.
- Vainikka A., Jokinen E.I., Kortet R., Taskinen J. Gender- and season-dependent relationships between testosterone, oestradiol and immune function in wild roach // *J. Fish Biol.* 2004. Vol. 64. P. 227–240. DOI: 10.1046/j.1095-8649.2004.00306.x.
- Yadav D.P., Banajee V., Banaerjee M. Haematology of genus *Channa*: leucocytes // *Comp. Physiol. Ecol.* 1986. Vol. 11, № 4. P. 226–232.
- Zapata A., Amemiya C.T. Phylogeny of Lower Vertebrates and Their Immunological Structures // *Current Topics in Microbiology and Immunology* Microbiology. 2000. Vol. 248. P. 67–107. DOI: 10.1007/978-3-642-59674-2_5.
- Zapata A.G. Ultrastructural study of the teleost fish kidney // *Develop. Comp. Immunol.* 1979. № 3. P. 55–65.

REFERENCES

- Andreeva A.M. Oogenez leshcha *Abramis brama* (L.) (Cyprinidae) Rybinskogo vodohranilishcha [Oogenesis of the bream *Abramis brama* (L.) (Cyprinidae) of the Rybinsk Reservoir]. *J. ichthyology*, 1983, vol. 23, no. 2, pp. 257–261. (In Russian)
- Atlas presnovodnykh ryb Rossii. T. 1 [Atlas of freshwater fishes of Russia. T 1]. Moscow, Nauka, 2002. 379 p. (In Russian)
- Basova M.M. Leykotsitarnaya formula morskogo ersha *Scorpaena porcus* kak biomarker antropogennogo zagryazneniya pribrezhnykh vod Chernogo morya [Blood cell count of the scorpion fish *Scorpaena porcus* as a biomarker of anthropogenic pollution in the Black Sea coastal waters]. *J. ichthyology*, 2017, vol. 57, no. 3, pp. 347–352. doi: 10.1134/S003294521703002X (In Russian)
- Brekhovskih V.F., Kazmiruk T.N., Kazmiruk V.D. Donnye otlozheniya Ivankovskogo vodokhranilishcha: sostoyanie, sostav, svoystva [Bottom sediments of the Ivankovskoye Reservoir: condition, composition, properties]. Moscow, Nauka, 2006. 176 p. (In Russian)
- Ellis A.E. Ontogeny of the Immune System in Teleost Fish. *Fish Vaccination*, 1988, pp. 20–31.
- Ekologicheskie problemy Verkhney Volgi [Environmental problems of the Upper Volga] (ed. Kopylov A.I.). Yaroslavl, YaGTU, 2001. 427 p. (In Russian)
- Fänge R., Nilsson S. The fish spleen: structure and function. *Experimentia*, 1985, vol. 41, no. 2, pp. 152–158.
- Fazio F., Lanteri G., Saoca C. et al. Individual variability of blood parameters in striped bass *Morone axatilis*: possible differences related to weight and length. *Aquaculture International*, 2020, vol. 28, pp. 1665–1673. doi: 10.1007/s10499-020-00550-z.
- Golovina N.A., Trombickij I.D. Gematologiya prудovykh ryb [Hematology of pond fish]. Kishinev, Shtiinca, 1989. 155 p. (In Russian)
- Gordeev I.I., Balabanova L.V., Suvorova T.A. et al. Sostav leykotsitov perifericheskoy krovi i immunokompetentnykh organov belogo goltsa ozera Kronotskoe (Kamchatka) [Composition of leukocytes of peripheral blood and immunocompetent organs of white char from Kronotskoye Lake (Kamchatka)]. *Fish Breed. Fish.*, 2021, no. 9(188), pp. 42–49. doi: 10.33920/sel-09-2109-04. (In Russian)
- Goryachev D.V., Nikitenko A.I., Klec N.N. et al. Sostoyanie zapasov vodnykh biologicheskikh resursov Ivankovskogo i Uglichskogo vodokhranilishch [State of water biological stock resources in the Ivankovskoe and Uglichskoe Reservoirs]. *Probl. Fish.*, 2021, vol. 22, no. 1, pp. 25–37. doi: 10.36038/0234-2774-2021-22-1-25-37. (In Russian)

- Grigor'eva I.L., Komissarov A.B., Chekmareva E.A. Current state, sources of pollution and possible ways of rehabilitation of Ivankovskoye reservoir and its tributaries. *Nauchnye problemy ozdorovleniya rossijskikh rek i puti ih resheniya: Sbornik nauchnykh trudov* [Proc. Scientific problems of improving the health of Russian rivers and ways to solve them: Collection of scientific papers]. Nizhnij Novgorod, Studiya F1, 2019, pp. 332–336. (In Russian)
- Haitov R.M., Ignat'eva G.A., Sidorovich I.G. Immunology: Textbook. Moscow, Medicina, 2002. 536 p. (In Russian)
- Hamdani S.H., McMillan D.N., Pettersen E.F. et al. Isolation of rainbow trout neutrophils with an anti-granulocyte monoclonal antibody. *Vet. Immunol. Immunopathol.*, 1998, vol. 63, pp. 369–380.
- Havixbeck J.J., Rieger A.M., Wong M.E. et al. Neutrophil contributions to the induction and regulation of the acute inflammatory response in teleost fish. *J. Leukoc. Biol.*, 2015, vol. 99, no. 2, pp. 241–252. doi: 10.1189/jlb.3HI0215-064R.
- Ivankovskoe vodokhranilishche i ego zhizn [Ivankovskoye Reservoir and its life] (eds. N.V. Butorina). Leningrad, Nauka, 1978. 304 p. (In Russian)
- Ivanova N.T. Atlas kletok krovi ryb [Atlas of Fish Blood Cells]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost, 1983. 184 p. (In Russian)
- Karim B., Yousria G., Wyllia Kh. Influence of total length, sex and seasonal variations on hematological parameters in *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) (Pisces Cyprinidae) in Lake Tonga (Algeria). *Biodivers. J.*, 2019, vol. 10(4), pp. 593–600. doi: 10.31396/Biodiv.Jour.2019.10.4.593.600.
- Katzenback B.A., Belosevic M. Isolation and functional characterization of neutrophil-like cells, from goldfish (*Carassius auratus* L.) kidney. *Dev. Comp. Immunol.*, 2009, vol. 33, no. 4, pp. 601–611. doi: 10.1016/j.dci.2008.10.011.
- Kejster I.A. Dynamics of fish blood parameters as an indicator of the state of the ichthyofauna of Lake Belye (Vologda region). *J. Sci. Publ. Postgrad. Dr.*, 2007, no. 12 ([http://jurnal.org/articles/2007/bio6.html.Version 03/2022](http://jurnal.org/articles/2007/bio6.html.Version%2003/2022)). (In Russian)
- Korneva L.G., Solov'eva V.V., Makarova O.S. et al. Raspređenje planktona v volzhskih vodokhranilishchah letom 2015 g. [Distribution of phytoplankton in the Volga river reservoirs in summer 2015 g.]. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2018, vol. 82(85), pp. 21–27. doi: 10.24411/0320-3557-2018-1-0010. (In Russian)
- Kostić-Vuković J., Kolarević S., Kračun-Kolarević M. et al. Temporal variation of biomarkers in common bream *Abramis brama* (L., 1758) exposed to untreated municipal wastewater in the Danube River in Belgrade, Serbia. *Environ. Monit. Assess.*, 2021, vol. 193(8), p. 465. doi: 10.1007/s10661-021-09232-6.
- Kovaleva M.P. Tekhnika promyshlennogo rybolovstva na Ivan'kovskom vodokhranilishche [Industrial fishing equipment on the Ivankovskoye reservoir]. *Izv. GosNIORH*, 1964, vol. 56, pp. 42–70. (In Russian)
- Križanac S., Topić Popović N., Barišić J. et al. Comparative Study of Physiological Changes in Turbot *Scophthalmus maximus* in Different Living Conditions. *Appl. Sci.*, 2022, vol. 12(9), p. 4201. doi: 10.3390/app12094201.
- Kuzina T.V. Tsitofiziologicheskie osobennosti krovi promyslovnykh ryb Volgo-Kaspiyskogo kanala [Cytophysiological features of blood of commercial fish of the Volga-Caspian Canal]. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Astrakhan, 2011. 25 p. (In Russian)
- Lamkova K., Simkova A., Palikova M. et al. Seasonal changes of immunocompetence and parasitism in chub (*Leuciscus cephalus*), a freshwater cyprinid fish. *Parasitol. Res.*, 2007, vol. 101, pp. 775–789. doi: 10.1007/s00436-007-0546-3.
- Lapirova T.B., Flyorova E.A. Fiziologo-biohimicheskaya karakteristika krovi leshcha (*Abramis brama* L.) Rybinskogo vodokhranilishcha [Physiological and Biochemical characteristics of blood of Bream (*Abramis brama* L.) from the Rybinsk reservoir]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, no. 2, pp. 83–88. (In Russian)
- Lapirova T.B., Zobotkina E.A. Comparative Analysis of the Indices of Immunophysiological State in Bream (*Abramis brama* (L.)) from Parts of the Rybinsk Reservoir with Different Extents of Pollution. *Inland Water Biol.*, 2010, no. 2, pp. 86–91. doi: 10.1134/S1995082910020136. (In Russian)
- Lapirova T.B., Zobotkina E.A. Effect of trypanosomiasis on hematologic characteristics of bream (*Abramis brama*). *Regul. Mech. Biosyst.*, 2018, vol. 8(3), pp. 309–314. doi: 10.15421/021845.
- Mikryakov V.R., Balabanova L.V. Osnovy kletochnoy immuniteta u ryb [The basis of cellular immunity in fish]. *Fiziologiya i parazitologiya presnovodnykh zhivotnykh*. Leningrad, Nauka, 1979, pp. 105–124. (In Russian)
- Mikryakov V.R., Balabanova L.V., Zobotkina E.A. et al. Reaktsiya immunnoy sistemy ryb na zagryaznenie vody toksikantami i zakislenie sredy [Reaction of the fish immune system to water pollution with toxicants and acidification of the environment]. Moscow, Nauka, 2001, 126 p. (In Russian)
- Mikryakov V.R., Lapirova T.B. Vliyanie soley nekotorykh tyazhelykh metallov na sostav beloĳ krovi molodi lenskogo osetra *Acipenser baeri* [Influence of salts of some heavy metals on the composition of white blood of juvenile Lena sturgeon *Acipenser baeri*]. *J. Ichthyol.*, 1997, vol. 37, no. 4, pp. 538–542 (In Russian).
- Mikryakov V.R., Tereshchenko V.G., Mikryakov D.V. The Experience of Using the Integral Index to Assess the Destabilization Processes in the Immune System of Fish. *Inland Water Biol.*, 2021, no. 3, pp. 311–320. doi: 10.31857/S0320965221030104. (In Russian)
- Mineeva N.M., Semadeni I.V., Solov'eva V.V., Makarova O.S. Chlorophyll Content and the Modern Trophic State of the Volga River Reservoirs (2019–2020). *Inland Water Biol.*, 2022, no. 4, pp. 367–371. doi: 10.31857/S0320965222040210. (In Russian)
- Modra H., Svobodova Z., Kolafova I. Comparison of Differential Leukocyte Counts in Fish of Economic and Indicator Importance. *Acta Vet. Brno*, 1998, vol. 67, pp. 215–226. doi: 10.2754/avb199867040215.
- Nikanorov Yu.I. Ivankovskoe i Uglichskoe vodokhranilishche [Ivankovskoye and Uglichskoye reservoirs]. *Sb. nauch. tr. GosNIORH*, 1984, vol. 210, pp. 4–12. (In Russian)

- Noga E.J. Spleen, thymus, reticulo-endothelial system, blood. *Systemic pathology of fish. A text and atlas of normal tissues in teleosts and their responses in disease*. London, Scotian Press, 2006. 121 p.
- Parish N., Wrathmell A., Hart S., Harris J. The leucocytes of the elasmobranch *Scyliorhinus vanicula* L. A morphological study. *J. Fish. Biol.*, 1986, vol. 28, no. 5, pp. 545–561. doi: 10.1111/j.1095-8649.1986.tb05192.x.
- Pavlidis M., Fütter W.C., Kathario P., Divanach P. Blood cells of six Mediterranean mariculture fish species. *J. Appl. Ichthyology*, 2007, vol. 23, pp. 70–73. doi: 10.1111/j.1439-0426.2006.00771x.
- Perova S.N., Pryanichnikova E.G., Zhigareva N.N., Zubishina A.A. Taksonomicheskij sostav i obilie makrozoobentosa volzhskih vodohranilishch [Taxonomic composition and abundance of macrozoobenthos in the Volga cascade reservoirs]. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2018, iss. 82(85), pp. 52–66. doi: 10.24411/0320-3557-2018-1-0012. (In Russian)
- Petrov R.V. Immunologiya [Immunology]. Moscow, Medicina, 1987. 416 p. (In Russian)
- Rey Vazquez G., Guerrero G.A. Characterization of blood cells and hematological parameters in *Cichlasoma dimerus* (Teleostei, Perciformes). *Tissue Cell*, 2007, vol. 39, pp. 151–160. doi: 10.1016/j.tice.2007.02.004.
- Sakun O.F., Buckaya N.A. Opredelenie stadij zrelosti i izuchenie polovyh ciklov ryb [Determination of maturity stages and study of sexual cycles of fish]. Moscow, *Rybnoe h-vo*, 1963. 35 p. (In Russian)
- Samai H.C., Rioult D., Bado-Nilles A. et al. Procedures for leukocytes isolation from lymphoid tissues and consequences on immune endpoints used to evaluate fish immune status: A case study on roach (*Rutilus rutilus*). *Fish and Shellfish Immunol.*, 2018, vol. 74, pp. 643–657. doi: 10.1016/j.fsi.2017.12.040.
- Sappo G.B. Biologiya, zapasy leshcha Ivankovskogo vodokhranilishcha i vliyanie na nikh sbrosnykh vod Konakovskoy GRES [Biology, bream stocks of Ivankovskoye reservoir and the impact of discharge waters of Konakovskaya GRES on them]. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Leningrad, 1976. 25 p. (In Russian)
- Sasaki Y., Maita M., Okamoto N. Rainbow trout neutrophils are responsible for non-specific cytotoxicity. *Fish Shellfish Immunol.*, 2002, vol. 14, pp. 243–252. doi: 10.3390/biology4040715.
- Savina L.V. Ispolzovanie gematologicheskikh pokazateley ryb dlya otsenki novoy kormovoy dobavki MIK BAK i ekologicheskogo sostoyaniya estestvennykh vodoemov [Use of hematological parameters of fish to evaluate the new feed additive MIC BAK and the ecological state of natural water bodies]. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Kaliningrad, 2004. 24 p. (In Russian)
- Scapigliati G. Functional aspects of fish lymphocytes. *Dev. Comp. Immunol.*, 2013, vol. 41, no. 2, pp. 200–208. doi: 10.1016/j.dci.2013.05.012.
- Serpunin G.G. Hematological indices of fish adaptations. *Extended Abstract of Dr. Biol. Sci. Diss.* Kaliningrad, 2002. 49 p. (In Russian)
- Smith C.R., Ottinger C.A., Walsh H.L., Blazer V.S. Development of a suite of functional immune assays and initial assessment of their utility in wild smallmouth bass health assessments. Reston, U.S. Geological Survey, 2020, Open-File Report 2020–1077. 23 p. doi: 10.3133/ofr20201077.
- Sueiro M.C., Awruch C., Gilardon C. et al. Immunity and health of two wild marine fishes naturally exposed to anthropogenic pollution. *Sci. Total Env.*, 2020, vol. 726, pp. 138–303. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138303.
- 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. *J. Ichthyol.*, 2024, vol. 64, no. 2, pp. 352–356. doi: 10.1134/S0032945224020140.
- Suvorova T.A., Pronina G.I., Mikryakov D.V. Sostav leykotsitov perifericheskoy krovi i immunokompetentnykh organov krossa karpa “Petrovskiy” v raznye periody rybovodnogo sezona [Composition of peripheral blood leukocytes and immune-competent bodies of the cross carp “Petrovsky” in different periods of the fishing season]. *Rybovodstvo i ryb. hoz-vo*, 2021, no. 1, pp. 58–68. doi: 10.33920/sel-09-2101-05. (In Russian)
- Svetasheva D.R., Grushko M.P., Nguen Thi Hong Van. Razvitie i funktsional'naya organizatsiya central'nykh organov gemopoeza lichinok leshcha obyknovennogo (*Abramis brama* (L.)) [Development and functional organization of central organs of bream (*Abramis brama* (L.)) larvae hematopoiesis]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hoz'yajstvo*, 2019, no. 3, pp. 125–131. doi: 10.24143/2073-5529-2019-3-125-131. (In Russian)
- Tenji D., Micic B., Sipos S. et al. Fish biomarkers from a different perspective: evidence of adaptive strategy of *Abramis brama* (L.) to chemical stress. *Environ. Sci. Eur.*, 2020, vol. 32, no. 1, p. 38. doi: 10.1186/s12302-020-00316-7.
- Uribe C., Folch H., Enriquez R., Moran G. Innate and adaptive immunity in teleost fish: A review. *Vet. Med.*, 2011, vol. 56, no. 10, pp. 486–503. doi: 10.17221/3294-VETMED.
- Vainikka A., Jokinen E.I., Kortet R., Taskinen J. Gender- and season-dependent relationships between testosterone, oestradiol and immune function in wild roach. *J. Fish Biol.*, 2004, vol. 64, pp. 227–240. doi: 10.1046/j.1095-8649.2004.00306.x.
- Yadav D.P., Banaijee V., Banaerjee M. Haematology of genus *Channa*: leucocytes. *Comp. Physiol. Ecol.*, 1986, vol. 11, no. 4, pp. 226–232.
- Yurova O.V., Sudarev N.P. Prirodnoe i antropogennoe vliyanie na populyatsiyu leshcha v Ivan'kovskom vodohranilishche [Natural and anthropogenic impact on bream population in the Ivankovo reservoir]. *Agrarny vestnik Verhnevolzh'ya*. 2022, no. 2(39), pp. 79–85. doi: 10.35523/2307-5872-2022-39-2-79-85. (In Russian)
- Zapata A., Amemiya C.T. Phylogeny of Lower Vertebrates and Their Immunological Structures. *Current Topics in Microbiology and Immunology Microbiology*, 2000, vol. 248, pp. 67–107. doi: 10.1007/978-3-642-59674-2_5.
- Zapata A.G. Ultrastructural study of the teleost fish kidney. *Develop. and Comp. Immunol.*, 1979, no. 3, pp. 55–65.

Zhiteneva L.D., Poltavceva T.G., Rudnickaya O.A. Atlas normal'nykh i patologicheski izmenennykh kletok krovi ryb: spravochnik [Atlas of normal and pathologically altered fish blood cells: a handbook]. Rostov-on-Don, Rostovskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1989. 112 p. (In Russian)

Zhiteneva T.S. Osobennosti ekologii leshcha *Abramis brama* L. na etapah i perekhodnykh periodakh razvitiya v svyazi s problemoj ego rosta v Ivan'kovskom vodohranilishche [Peculiarities of ecology of bream *Abramis brama* L. at stages and transition periods of development in connection with the problem of its growth in the Ivankovskoye reservoir]. *Inland Water Biol.*, 1998, no. 1, pp. 55–61. (In Russian)

INFLUENCE OF SIZE, SEX AND AGE ON INDIVIDUAL VARIABILITY OF LEUCOCYTE FORMULA OF BREAM *ABRAMIS BRAMA* LIVING IN IVANKOVSKOYE RESERVOIR

T. A. Suvorova

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences

152742 Borok, Russia, e-mail: tanya@ibiw.ru

Revised 14.04.2025

The dependence of the ratio of leukocytes in peripheral blood and immunocompetent organs of the bream *Abramis brama* L., inhabiting the Ivankovskoye Reservoir, on the length, weight, sex and age of the fish was studied. In smears, the cell types characteristic of the species were differentiated: lymphocytes, monocytes/macrophages, neutro- and eosinophils, blast cells. The distribution of individual values of leukocyte forms for each organ was normal according to the chi-square criterion with left-sided (lymphocytes) and right-sided asymmetry (neutrophils, eosinophils and blast cells). The number of leukocyte forms did not correlate with the length, weight and age of the fish. The differences between males and females were most pronounced in the composition of leukocytes in the head kidney: males had a higher content of monocytes, neutrophils and eosinophils, and a lower content of blast cells. In the spleen of females, the relative content of neutrophils and eosinophils is higher than in males.

Keywords: bream *Abramis brama*, peripheral blood, pronephros, spleen, leukocytes, Ivankovskoye Reservoir