

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭРИТРОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ МАТОЧНОГО ПОГОЛОВЬЯ КАРПА (*CYPRINUS CARPIO*) ПРИ ЖИРОВОЙ ДИСТРОФИИ ПЕЧЕНИ

Семенова Е. В.^{1*} — асп., мл. науч. сотр. лаборатории инновационных препаратов рекомбинантной протеомики (ORCID 0000-0003-3675-5467); Мармурова О. М.² — канд. с.-х. наук, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и паразитологии (ORCID 0000-0002-1726-3769), Михайлов Е. В.^{1,2} — канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр., заведующий отделом экспериментальной фармакологии и функционирования живых систем, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и паразитологии (ORCID ID 000-0001-54-57-1325).

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт патологии, фармакологии и терапии».

²ФГБОУ ВО «Воронежский Государственный аграрный университет им Петра I».

*elenasemyonova5@gmail.com.

Ключевые слова: карп обыкновенный, *Cyprinus carpio*, жировая дистрофия печени, периферическая кровь, морфометрия эритроцитов.

Key words: common carp, *Cyprinus carpio*, fatty liver dystrophy, peripheral blood, erythrocyte morphometry.

Поступила в редакцию / Received: 15.02.2026

Одобрена после рецензирования / Revised: 11.06.2026

Принята к печати / Accepted: 25.06.2026



РЕФЕРАТ. Метаболические патологии печени все чаще регистрируются у маточного поголовья карпа в условиях интенсивного прудового рыбоводства, однако объективные прижизненные критерии их диагностики до настоящего времени не разработаны. Целью настоящей работы являлась количественная оценка морфометрических параметров эритроцитов периферической крови у самок карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*) с верифицированной жировой дистрофией печени и сопоставление полученных характеристик с показателями клинически здоровых особей. Исследования проводились на базе лаборатории инновационных препаратов рекомбинантной протеомики отдела экспериментальной фармакологии и моделирования живых систем ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии». Полевые исследования и отбор материала осуществлялся на базе ООО «Зазеркалье» Аннинского района, Воронежской области в 2024–2025 годах. Сформированы две экспериментальные группы: опытная группа ($n=50$) — особи с подтвержденной жировой дистрофией печени и контрольная группа ($n=50$) — клинически здоровые особи без признаков патологии печени. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета прикладных программ для статистического анализа. Предварительно осуществляли проверку нормальности распределения количественных признаков с применением критерия Шапиро-Уилка. Поскольку часть морфометрических показателей не соответствовала закону нормального распределения, результаты представляли в виде среднего арифметического значения (M) $\pm$ стандартная ошибка среднего (m). Достоверность межгрупповых различий оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. На мазках, окрашенных по Паппенгейму, установлено, что у рыб с поражением печени утрачивается морфологическая однородность красной крови. Сочетание анизоцитоза, цитоплазматической вакуолизации и ядерных деформаций формирует устойчивый морфологический паттерн, патогенетически связанный с дистрофическими изменениями в гепатоцитах. Полученные результаты обосновывают перспективность включения морфометрии периферической крови в систему прижизненной диагностики метаболических гепатопатий маточного поголовья карпа в условиях товарных хозяйств.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION. Современное прудовое рыбоводство развивается в условиях нарастающей интенсификации производства, и одним из побочных результатов этого процесса становится увеличение распространенности незаразных патологий обменного характера. Среди них жировая дистрофия печени занимает особое место как заболевание, длительно протекающее в скрытой форме и в то же время, непосредственно влияющее на продуктивные и репродуктивные

качества рыб [6]. Переход отрасли на высококонцентрированные комбикорма с нередко несбалансированным липидным составом, повышенная плотность посадки и ограниченная двигательная активность формируют устойчивый метаболический фон, предрасполагающий к избыточному накоплению липидов в гепатоцитах [1].

Особую значимость проблема приобретает в отношении маточного поголовья карпа. Печень половозрелых самок несет двойную нагрузку.

Она выполняет функции центрального метаболического органа и одновременно участвует в синтезе желточных белков в период вителлогенеза [7]. Развитие дистрофического процесса в этом органе закономерно сказывается на жизнеспособности самой рыбы. Так же сказывается и на качестве икры, а значит — на воспроизводстве всего стада и экономической эффективности хозяйства в целом [14].

Диагностика гепатической патологии у рыб традиционно опирается на макроскопическую оценку при вскрытии, а также гистологическое исследование. Однако они по определению неприменимы к прижизненному мониторингу [4]. Биохимические маркеры несут ценную информацию, однако требуют специализированного лабораторного оснащения и сопряжены с существенными затратами при массовом обследовании поголовья [2]. В этом контексте морфологический анализ периферической крови представляет собой привлекательную альтернативу. Метод относительно прост, воспроизводим, требует минимального объема биоматериала и не предполагает гибели животного [21].

Патофизиологическая связь между состоянием печени и качеством эритроцитов у рыб имеет вполне определенное обоснование. Печень синтезирует липидные компоненты клеточных мембран, обеспечивает детоксикацию метаболитов. Данный орган также является источником ряда регуляторных факторов, влияющих на эритропоэз [13]. При хроническом поражении печени закономерно ожидать нарушения морфологической стабильности красного ростка кроветворения [9]. Тем не менее количественные морфометрические характеристики этого процесса у карпа с жировой дистрофией печени практически не изучены. Большинство опубликованных работ, посвященных гематологии карпа, ограничивается описательной морфологией [11]. В некоторых также рассматривается реакция крови на инфекционные агенты и токсическую нагрузку, оставляя в стороне специфику эритроидных изменений при метаболической гепатопатии [16].

Настоящее исследование направлено на восполнение этого пробела. Его цель — установить морфометрические параметры эритроцитов периферической крови у маточного карпа с подтвержденной жировой дистрофией печени. Необходимо определить, в чем именно они отличаются от показателей клинически здоровых особей того же возраста и условий содержания. Полученные данные могут стать основой для разработки гематологических критериев ранней прижизненной диагностики данной патологии непосредственно в условиях рыбоводных хозяйств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS. Исследования проводились на базе лаборатории инновационных препаратов рекомбинантной протеомики отдела экспериментальной фармакологии и моделирования живых систем ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии». Полевые исследования

и отбор материала осуществлялся на базе ООО «Зазеркалье» Аннинского района, Воронежской области в 2024—2025 годах.

Объектом исследования служили особи маточного поголовья карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*, L., 1758) возрастом 6—8 лет со средней массой 3900 г., отобранные для выбраковки вследствие снижения репродуктивных показателей и находившиеся вне периода активного вителлогенеза, что исключало влияние физиологического гепатического стеатоза, ассоциированного с репродуктивным циклом. Рыб содержали в производственных условиях. Кормление осуществляли репродукционным кормом РТ-37/9 AGRO-FISHTM.

Предварительное формирование экспериментальных групп проводили на основании метода молекулярно-генетического анализа экспрессии гена липопротеинлипазы (LPL), разработанного Шабуниным С. В. и др. Если при расчете по формуле $2^{-\Delta\Delta Ct}$ было получено значение $\geq 2,3$, то рыба с вероятностью в 80% имела жировую дистрофию печени [10]. На основании полученных данных формировали две группы: особи с показателями экспрессии ниже указанного порога (контрольная группа) и особи с показателями экспрессии гена LPL выше указанного порога (опытная группа). Окончательную верификацию диагноза жировой дистрофии печени осуществляли посредством патологоанатомического вскрытия, гистологического и гистохимического исследования печени, результаты которого представлены в разделе «Результаты» (рисунок 1). Гистологические препараты готовили по стандартной методике с окраской гематоксилином Карраци и водно-спиртовым раствором эозина [20]. Гистохимическое исследование осуществляли с помощью замораживающего криостолика и специализированной окраски на липиды суданом III и шарлахом красным [3]. Манипуляции с рыбой проводили с соблюдением правил биоэтических рекомендаций, описанных в руководстве по уходу и использованию лабораторных животных [15].

Таким образом, были сформированы две экспериментальные группы: опытная группа (n=50) — особи с подтвержденной жировой дистрофией печени и контрольная группа (n=50) — клинически здоровые особи без признаков патологии печени.

Отбор периферической крови карпа обыкновенного производили по методике Петровой Э. А. из хвостовой вены в точке пересечения линии, идущей от заднего края анального плавника. В начале отделяли чешуи и обрабатывали место пункции 70 % раствором этилового спирта. Слизь удаляли с помощью ватного тампона. Сам отбор выполняли шприцом с инъекционной иглой, обработанными раствором этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА). После произведения прокола поршень шприца натягивали, медленно продвигая иглу под углом в 45° по направлению к голове до упора в позвоночный столб. Наклоненную иглу вращали до появления в канюле шприца крови, отбирали кровь, извлекали иглу и обрабатывали место пункции антисептиком [8].

Приготовленные мазки периферической крови окрашивались в соответствии со стандартной методикой [11]. После сушки в течение 4 мин мазки фиксировались в смеси Никифорова (1:1, метиловый спирт: диэтиловый эфир) при экспозиции в течение 2 минут, затем проводили окрашивание эозином метиленовым синим по Май-Грюнвальду в течение 4 минут. Далее препараты промывали и высушивали, после чего проводили доокрашивание азури-эозином по Романовскому-Гимзе в течение 10 минут. Полученные препараты вновь промывали в контейнерах с дистиллированной водой и высушивали в течение 30 минут [19].

Микроскопический анализ препаратов выполняли при помощи светового микроскопа с цифровой камерой при увеличении $\times 1000$ с иммерсионным объективом. Для каждого препарата крови просматривалось не менее 50 полей зрения в монослойной зоне мазка, где клетки располагались изолированно и не подвергались деформации при растягивании капли крови. Цифровые изображения высокого разрешения сохраняли в формате TIFF и подвергали морфометрической обработке с использованием программного пакета для анализа изображений, позволяющего проводить калиброванные измерения линейных и площадных параметров клеточных структур.

Для каждой особи проводили измерение не менее 150 эритроцитов, выбранных случайным образом в различных участках мазка. Определяли

следующие параметры: максимальный диаметр клетки и ядра, площадь цитоплазмы и ядра, на основании которых рассчитывали ядерно-цитоплазматическое отношение (ЯЦО) по формуле:

$$\text{ЯЦО} = \frac{S_{\text{ядра}}}{S_{\text{цитоплазмы}}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{ядра}}$ и $S_{\text{цитоплазмы}}$ — площади соответствующих структур, выраженные в $\mu\text{м}^2$.

Отдельно учитывали частоту встречаемости клеток с вакуолизацией цитоплазмы или ядра, а также измеряли диаметр наиболее крупных вакуолей в тех случаях, когда они могли быть четко идентифицированы [5, 14].

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета прикладных программ для статистического анализа. Предварительно осуществляли проверку нормальности распределения количественных признаков с применением критерия Шапиро-Уилка. Поскольку часть морфометрических показателей не соответствовала закону нормального распределения, результаты представляли в виде среднего арифметического значения (M) $\pm$ стандартная ошибка среднего (m). Достоверность межгрупповых различий оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS. Предварительная

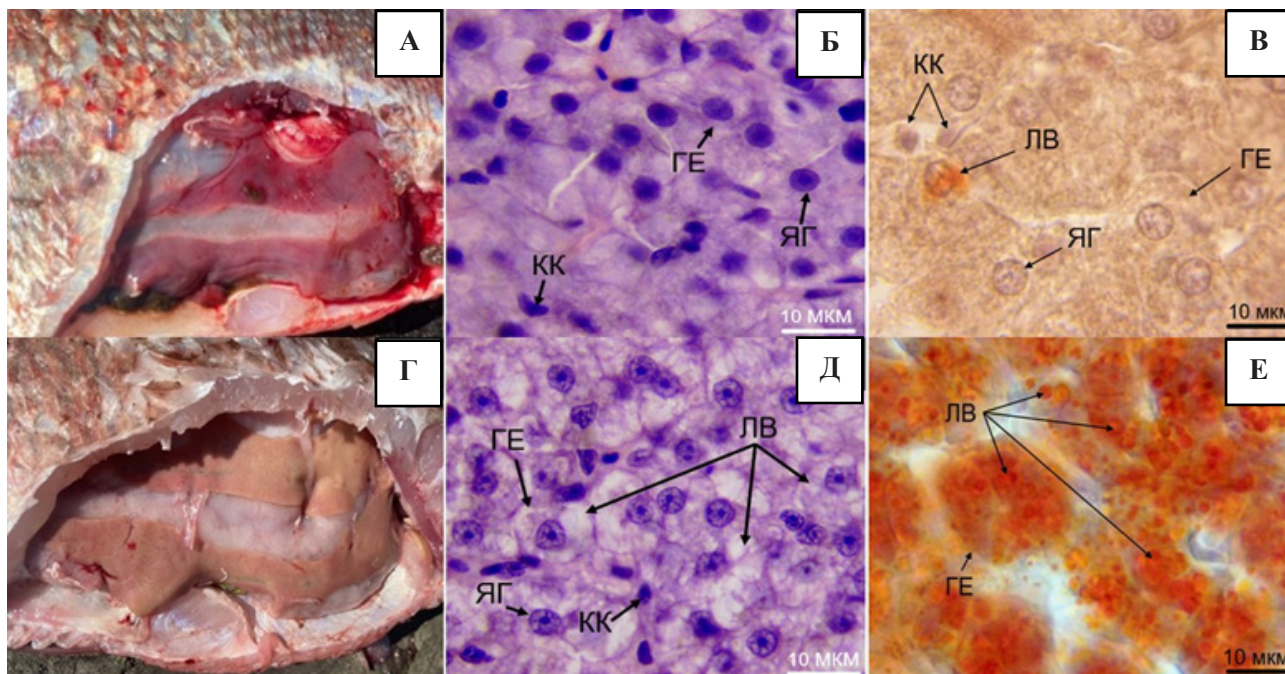


Рисунок 1 — Результаты верификации диагноза жировой дистрофии печени у производителей карпа обыкновенного (*Cyprinus Carpio*, L., 1758). А-В — печень в нормальном физиологическом состоянии; Г-Е — печень с выраженной жировой дистрофией печени; Б, Д — окраска гематоксилин-эозин, ув. $\times 1000$; В, Е — окраска судан III — шарлах алый с докраской гематоксилином Карацци, ув. $\times 1000$; ЛВ — липидные включения, КК — клетки Купфера, СК — сосудистый капилляр, GE — гепатоцит, ЯГ — Ядро гепатоцита.

Figure 1 — Results of verification of the diagnosis of fatty degeneration of the liver in common carp producers (*Cyprinus Carpio*, L., 1758). А-В — liver in normal physiological state; Г-Е — liver with severe fatty degeneration of the liver; Б, Д — hematoxylin and eosin staining, magnification $\times 1000$; В, Е — Sudan III — scarlet staining with Carazzi hematoxylin counterstain, magnification $\times 1000$; LV — lipid inclusions, KK — Kupffer cells, SC — vascular capillary, GE — hepatocyte, YG — hepatocyte nucleus.

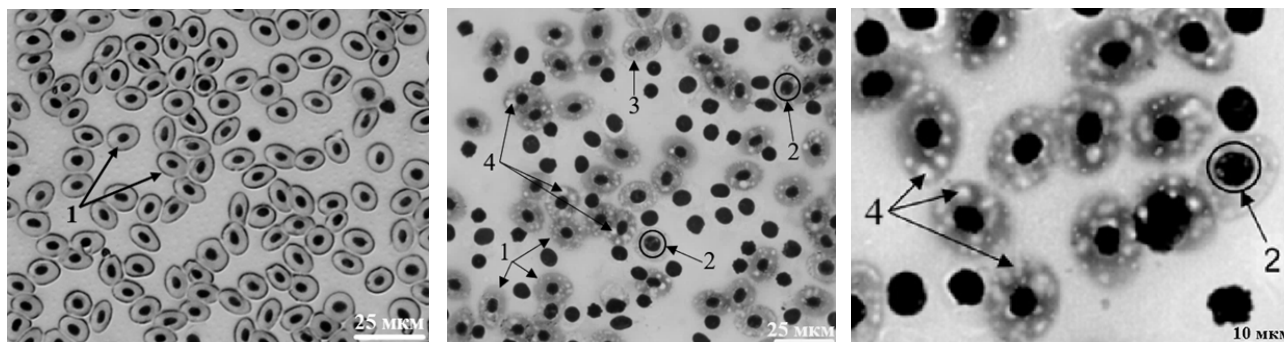


Рисунок 2 — Микрофотографии мазков периферической крови маточного поголовья карпа обыкновенного. А — контрольной группы, Б, В — опытной группы. 1 — эритроциты, 2 — вакуолизация ядра эритроцитов, 3 — анизоцитоз эритроцитов, 4 — вакуолизация цитоплазмы эритроцитов. Окраска по Паппенгейму. А, Б, В — ув. $\times 1000$.

Figure 2 — Micrographs of peripheral blood smears from common carp breeding stock. А — control group, В, С — experimental group. 1 — erythrocytes, 2 — vacuolation of the erythrocyte nucleus, 3 — anisocytosis of erythrocytes, 4 — vacuolation of the erythrocyte cytoplasm. Stained according to Pappenheim. А, В, С — magnification $\times 1000$.

верификация диагноза жировой дистрофии печени у особей обеих экспериментальных групп была осуществлена на основании результатов патологоанатомического вскрытия и комплексного гистологического и гистохимического исследования (рис. 1).

У рыб контрольной группы (рис. 1, А–В) печень макроскопически имела красно-бурый цвет, а также плотноэластическую консистенцию без видимых признаков жировой инфильтрации. При гистологическом исследовании паренхима печени имела правильно ориентированные тяжи гепатоцитов (ГЕ) с умеренно базофильной цитоплазмой. Отмечались округлые ядра (ЯГ) с хорошо различимыми ядрышками. Клетки Купфера (КК) располагались в просвете синусоидных капилляров. При гистохимическом исследовании липидные включения (ЛВ) определялись в единичных гепатоцитах в незначительном количестве. Такая картина соответствует физиологической норме для исследуемых гидробионтов.

У особей опытной группы (рис. 1, Г–Е) макроскопически печень была увеличена в объеме. Имела дряблую консистенцию с характерным глинисто-желтым оттенком паренхимы. Гистологически выявлялась выраженная дезорганизация структуры. Ядра гепатоцитов (ЯГ) смещались к периферии клетки, цитоплазма содержала многочисленные крупные липидные включения (ЛВ), а клетки Купфера (КК) находились в состоянии активации. При гистохимическом исследовании отмечалась обширная инфильтрация паренхимы нейтральными липидами, что является характерным признаком жировой дистрофии печени.

Морфологическая характеристика мазков периферической крови маточного поголовья карпа обыкновенного в контрольной группе (рисунок 2А) демонстрирует эритроциты преимущественно овальной формы с умеренно эозинофильной, оптически плотной цитоплазмой, без вакуолизации и без признаков деформации ядра. Контур ядер ровный, структура хроматина мелкозернистая, равномерно распределена, перинуклеарные просветления не определяются. Вариабельность линейных разме-

ров клеток и ядер минимальна, что указывает на стабильное состояние эритроцитарного гомеостаза и отсутствие значимого стрессорного воздействия.

В опытной группе (рис. 2Б, 2В) формируется полиморфная эритроидная популяция с расширением диапазона величин и формы клеток, что морфологически проявляется анизоцитозом и чередованием участков повышенной и пониженной оптической плотности цитоплазмы. У существенной доли эритроцитов визуализируются округлые просветления в перинуклеарной зоне и в цитоплазме, соответствующие вакуолизации. На ядерном уровне отмечаются признаки структурной нестабильности: инвагинации ядерной оболочки, локальные участки конденсации хроматина и начальные проявления пикноза. Конфигурация ядра у значимого числа клеток отклоняется от овальной, проявляется формирование сглаженных и углубленных контуров. Деформация и пикноз ядер клеток крови указывают на активацию апоптотических программ и преждевременное старение клеток, что сокращает функциональный период их циркуляции и усугубляет анемический синдром [18].

Морфометрический анализ периферической крови маточного поголовья карпа обыкновенного выявил выраженные межгрупповые различия, затрагивающие как ядерные, так и цитоплазматические параметры эритроидных клеток, а также частоту и выраженность вакуолизации (рис. 3).

В контрольной группе диапазон ядерных размеров находился в физиологических пределах, где диаметр ядер не превышал значения в $3,100 \pm 0,155$ мкм с площадью ядер до $7,500 \pm 0,375$ мкм². Эти величины отражают стабильный эритропоэз без признаков регенераторного сдвига. Диаметр самих эритроцитов находился в промежутке от $6,500 \pm 0,325$ до $8,700 \pm 0,435$ мкм и соответствующей площадью цитоплазмы от $25,000 \pm 1,250$ до $45,000 \pm 2,250$ мкм². Количественная оценка неоднородности популяции эритроцитов, выраженная через коэффициент вариации диаметра, в контрольной группе оставалась в узком интервале $8,500 \pm 0,425$ — $12,900 \pm 0,645\%$, что характерно

для однотипной зрелой популяции. Ядерно-цитоплазматическое отношение в контроле оставалось низким и стабильным ($0,110 \pm 0,001 - 0,220 \pm 0,011$), подтверждая зрелый статус клеток. Вакуолизация клеток фиксировалась в следовых количествах, не превышая $3,500 \pm 0,175\%$.

У особей опытной группы популяция эритроцитов утратила морфологическую однородность, что особенно отчетливо проявилось в параметрах ядерного аппарата. Коэффициент вариации диаметра эритроцитов достигал $12,680 \pm 0,634\%$ ($p < 0,05$), такой достоверный уровень разброса уже нельзя рассматривать как обычную биологическую изменчивость. Выраженный анизоцитоз с расширением диапазона размеров клеток и увеличением коэффициента вариации в десять раз свидетельствует о нарушении эритропоэза и одновременной циркуляции разнородных клеточных популяций [17]. Он отражает присутствие в периферическом русле клеток разного происхождения и степени зрелости, когда рядом циркулируют как функционально полноценные формы, так и морфологически измененные элементы. Ядра демонстрировали широкий диапазон размеров. Их диаметр колебался в пределах $1,700 \pm 0,085 - 3,900 \pm 0,195$ мкм, а площадь находилась в интервале $2,300 \pm 0,115 - 11,900 \pm 0,595$ мкм² ($p < 0,05$). Подобная неоднородность позволяет говорить о сочетании разнонаправленных процессов. С одной стороны, можно заметить признаки клеточной дегенерации, связанные с уплотнением хроматина и развитием пикноза, с другой - сохраняется примесь незрелых эритроидных форм, для которых характерно относительное увеличение ядра.

Не менее показательной оказалась и цитоплазматическая часть клеток. Размерный диапазон самих эритроцитов оказался заметно шире, чем в контроле, и охватывал значения от $4,100 \pm 0,205$ до $10,800 \pm 0,540$ мкм, тогда как площадь цитоплазмы в отдельных случаях достигала $74,000 \pm 3,700$ мкм² ($p < 0,05$). В морфологическом отношении это соответствует выраженному анизоцитозу. В кровотоке одновременно присутствовали как мелкие клетки, близкие к микроцитарным вариантам, так и увеличенные стресс-формы. Подобная картина обычно сопровождает дестабилизацию эритропоэза и указывает на то, что обновление клеточной популяции происходит в условиях патологического напряжения, когда механизмы созревания и отбора форменных элементов уже не обеспечивают стабильность их морфометрического профиля.

ЯЦО (рисунок 4) достигало $0,480 \pm 0,024$ ($p < 0,01$), в верхней границе, что указывает на высокую долю клеток с относительно крупным ядром при уменьшенном объеме цитоплазмы. Однако важно учитывать, что нормативные значения ЯЦО для зрелых эритроцитов карпа, по имеющимся литературным данным, не превышают $0,18 - 0,20$ [14]. Столь значительное повышение показателя в опытной группе объясняется двумя процессами. Во-первых, происходит задержка в периферическом русле незрелых эритроидных предшественников с относительно большим ядром. Это свидетельствует о сдвиге эритропоэза влево. Во-вторых, имеет место быть атрофия цитоплазматического компартмента в уже циркулирующих клетках. Данное явление происходит на фоне дефицита пластических субстратов при хро-

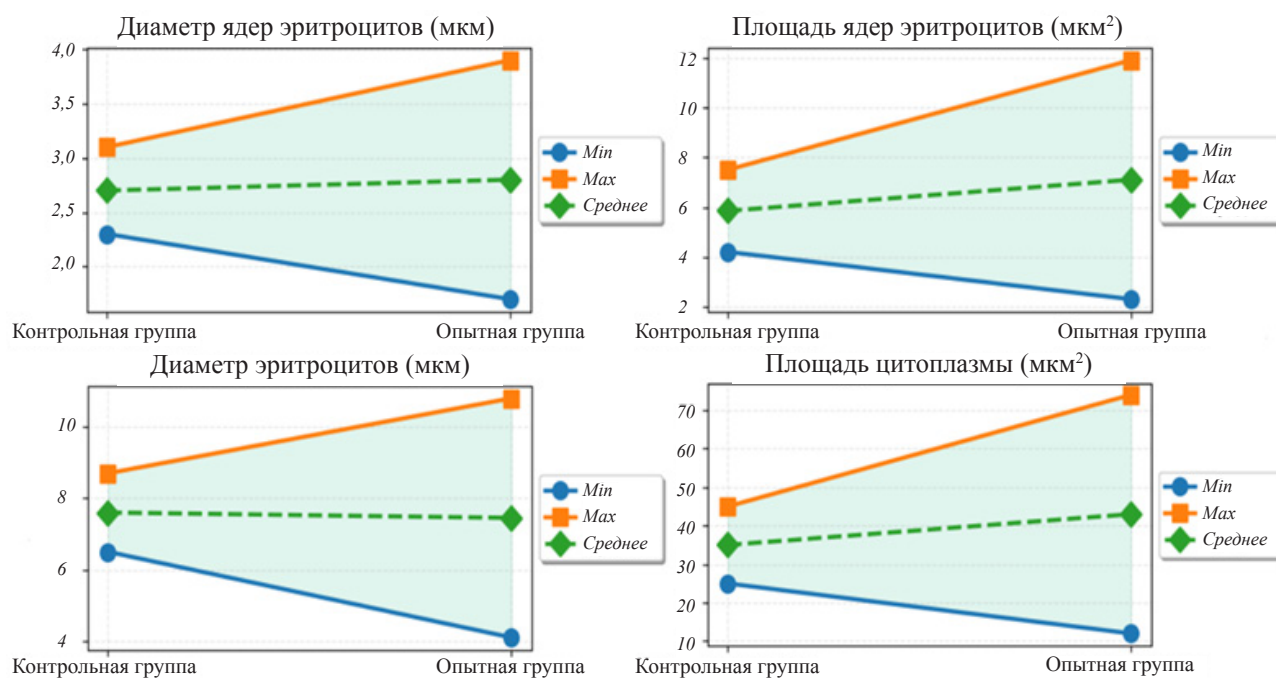


Рисунок 3 — Сравнительная характеристика ядерных и цитоплазматических параметров эритроцитов маточного поголовья карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*) контрольной и опытной групп.

Figure 3 — Comparative characteristics of nuclear and cytoplasmic parameters of erythrocytes of the common carp (*Cyprinus carpio*) breeding stock of the control and experimental groups

нической печеночной дисфункции [5]. Поэтому комбинация ядерных деформаций, высокой вакуолизации и увеличенного ЯЦО формирует согласованный морфологический профиль дистрофического процесса в эритроидном ряду.

В опытной группе также регистрировалось резкое усиление вакуолизации эритроцитов. Доля вакуолей в цитоплазме достоверно возросла до $52,000 \pm 2,600$ % ($p < 0,01$) на верхней границе, диаметр крупных вакуолей достигал $3,200 \pm 0,160$ мкм ($p < 0,05$), а частота клеток с вакуолизацией составила $48,000 \pm 2,400$ % ($p < 0,001$). Массивная вакуолизация цитоплазмы эритроцитов, охватывающая значительную часть клеточной популяции, отражает нарушение осморегуляции и структурной целостности клеточных мембран, что может быть обусловлено накоплением токсических метаболитов и дефицитом антиоксидантной защиты [17]. Такая картина соответствует трансформации эритроцитов, сопровождающейся нарушением осморегуляции и эндолизосомальных процессов. Степень выраженности вакуолизации согласуется с увеличением дисперсии размерных показателей клеток и служит интегральным индикатором клеточного стресса.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION. Проведенное исследование морфометрических параметров эритроцитов периферической крови маточного поголовья карпа обыкновенного выявило существенные структурные нарушения красного ростка кроветворения при жировой дистрофии печени. Патогенетическая взаимосвязь установленных изменений объясняется системным воздействием метаболической гепатопатии на процессы эритропоэза и стабильность мембранных структур циркулирующих клеток. Печеночная дисфункция инициирует каскад нарушений липидного обмена и детоксикации, что закономерно отражается на морфологическом качестве эритроидной популяции, формируя характерный комплекс изменений.

У особей с подтвержденной жировой дистрофией печени установлена утрата морфологической однородности эритроидной популяции, проявляющаяся выраженным анизоцитозом с увеличением коэффициента вариации диаметра эритроцитов. Полученные результаты отражают одновременную циркуляцию в периферическом русле клеток различного происхождения и степени зрелости, что свидетельствует о глубокой

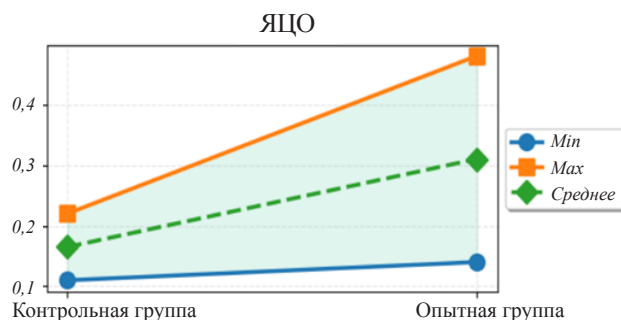


Рисунок 4 — Сравнительная характеристика ядерно-цитоплазматического отношения морфометрических показателей эритроцитов крови маточного поголовья карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*) контрольной и опытной групп.

Figure 4 — Comparative characteristics of the nuclear-cytoplasmic ratio of morphometric parameters of erythrocytes in the blood of the breeding stock of common carp (*Cyprinus carpio*) of the control and experimental groups.

дезорганизации эритропоэза в условиях хронической метаболической патологии.

Параллельно с нарушением размерной однородности развивалась массивная вакуолизация эритроцитов. Такая картина отражает нарушение осморегуляции и структурной целостности клеточных мембран, обусловленное накоплением токсических метаболитов и истощением антиоксидантной защиты на фоне печеночной недостаточности. Качественные изменения затронули и ядерный аппарат эритроцитов. Регистрировались инвагинации ядерной оболочки, локальные участки конденсации хроматина и начальные признаки пикноза. Это может указывать на активацию апоптотических программ и преждевременное старение клеток красной крови.

Совокупность выявленных изменений формирует специфический морфологический паттерн, патогенетически связанный с тяжестью дистрофических изменений в печени. Результаты подтверждают высокую диагностическую ценность морфометрического исследования эритроцитов периферической крови при жировой дистрофии печени у карпа. Эти данные могут служить основой для разработки методов прижизненного мониторинга маточного поголовья. Подобное критически важно для сохранения репродуктивного потенциала производителей и обеспечения устойчивого развития рыбоводческих хозяйств.

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF PERIPHERAL BLOOD ERYTHROCYTES IN COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO*) BROODSTOCK WITH FATTY LIVER DYSTROPHY

Semenova E. V.^{1*} — graduate student, Junior researcher, Laboratory of Innovative Recombinant Proteomics. (ORCID 0000-0003-3675-5467); **Marmurova O. M.^{1,2}** — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary Sanitary Expertise, Epizootiology and Parasitology (ORCID 0000-0002-1726-3769).

¹All-Russian Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy.

²Voronezh State Agricultural University named after Peter I.

*elenasemyonova5@gmail.com.

ABSTRACT. *Metabolic liver pathologies are increasingly being recorded in carp broodstock under intensive pond fish farming conditions; however, objective intravital diagnostic criteria for their diagnosis have not yet been developed. The aim of this study was to quantitatively evaluate the morphometric parameters of peripheral blood erythrocytes in female common carp (*Cyprinus carpio*) with verified fatty liver disease and compare these characteristics with those of clinically healthy individuals. The study was conducted at the Laboratory of Innovative Recombinant Proteomics Preparations in the Department of Experimental Pharmacology and Modeling of Living Systems at the All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology, and Therapy. Field research and material collection were conducted at Zazerkalye LLC in the Anninsky District of Voronezh Oblast in 2024-2025. Two experimental groups were formed: the experimental group (n=50) included individuals with confirmed fatty liver disease and the control group (n=50) included clinically healthy individuals with no signs of liver pathology. Statistical processing of the obtained data was performed using a package of applied software for statistical analysis. The normality of the distribution of quantitative characteristics was preliminarily checked using the Shapiro-Wilk criterion. Since some morphometric parameters did not correspond to the normal distribution law, the results were presented as the arithmetic mean (M) $\pm$ standard error of the mean (m). The reliability of intergroup differences was assessed using the nonparametric Mann-Whitney U-test for independent samples. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. Smears stained according to Pappenheim showed that fish with liver damage lose the morphological homogeneity of their red blood. The combination of anisocytosis, cytoplasmic vacuolization, and nuclear deformations forms a stable morphological pattern pathogenetically associated with dystrophic changes in hepatocytes. The obtained results substantiate the potential of incorporating peripheral blood morphometry into the intravital diagnostics of metabolic hepatopathies in carp broodstock on commercial farms.*

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аэромоноз карпа как следствие алиментарных заболеваний (этиология, патогенез, диагностика и меры борьбы) / П. С. Илюшина, Е. И. Перетокина, Н. А. Головачева, Л. И. Бычкова // Тенденции развития науки и образования. — 2022. — № 86—5. — С. 152—156.
2. Биохимические маркеры крови молоди янтарной форели в эксперименте по определению гепатопротекторной активности нового гепатопротектора гепрасана-Нео / А. А. Абрамов, М. П. Семененко, Е. В. Кузьминова, Д. В. Оsepчук // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. — 2024. — Т. 13, № 1. — С. 272—275.
3. Герунов В. И. Гистологический и гистохимический методы исследования при оценке гепатотоксического действия раундапа. В сб.: Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО Омский ГАУ. Омск, Омский ГАУ, 2022: 173—174.
4. Диагностика и лечебно-профилактические мероприятия при болезнях рыб: учебное пособие для студентов факультета ветеринарной медицины / сост. : Е.И. Нижельская, О.Н. Полозюк, Л.Г. Войтенко; Донской ГАУ. — Персия новский : Донской ГАУ, 2019. — 162 с.
5. Иванова Н. Т. Атлас клеток крови рыб. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. — 110 с.
6. Камалетдинова, Э. Р. Развитие высокоэффективной аквакультуры для обеспечения импортозамещения в условиях санкций Евросоюза/ Э. Р. Камалетдинова, В. Н. Любомирова, Е. М. Романова // Элект. научно-практ. периодическое издание «Совр. научные исследования и разработки», — 2016. — Выпуск № 3 (3). — С. 262—264.
7. Мурашкин, В. Б. Племенное дело и перспективы использования высокопродуктивных кроссов карповых рыб в товарном рыбоводстве / В. Б. Мурашкин // Рыбоводство. — 2022. — № 3—4. — С. 28—30.
8. Петрова, Э. А. Алгоритм взятия крови у разных видов животных [Электронный ресурс]: учебное пособие / Э. А. Петрова; Краснояр. гос. аграрный ун-т. — Красноярск, 2024. — 115 с.
9. Цыпляков, А. Э. Патоморфогенез жировых дистрофий / А. Э. Цыпляков // Патологическая анатомия жи-

REFERENCES

1. Carp aeromonosis as a consequence of alimentary diseases (etiology, pathogenesis, diagnosis and control measures) / P. S. Ilyushin, E. I. Peretokin, N. A. Golovacheva, L. I. Bychkova//Trends in the development of science and education. — 2022. — № 86—5. — P. 152—156.
2. Biochemical markers of the blood of juvenile amber trout in an experiment to determine the hepatoprotective activity of the new hepatoprotector heprasan—Neo/A. A. Abramov, M. P. Semenenko, E. V. Kuzminova, D. V. Osepchuk//Collection of scientific works of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine. — 2024. — Vol. 13, NO. 1. — P. 272—275.
3. Gerunov V.I. Histological and histochemical study methods in assessing the hepatotoxic effect of Roundup. In Sat.: Catalog of scientific and innovative developments FSBEI HE Omsk GAU. Omsk, Omsk GAU, 2022: 173—174.
4. Diagnostics and treatment and preventive measures for fish diseases: textbook for students of the Faculty of Veterinary Medicine/comp.: E.I. Nizhelskaya, O.N. Polozyuk, L.G. Voitenko; Don GAU. — Persia Novsky: Donskoy GAU, 2019. — 162 p.
5. Ivanova N.T. Atlas of fish blood cells. — M.: Light and food industry, 1983. — 110 p.
6. Kamaletdinova, E. R. Development of highly efficient aquaculture to ensure import substitution under EU sanctions/E. R. Kamaletdinov, V.N. Lyubomirova, E. M. Romanova//Electronic scientific and practical periodical «Modern scientific research and development,» — 2016. — Issue No. 3 (3). — P. 262—264.
7. Murashkin, V. B. Breeding and prospects for the use of highly productive crosses of cyprinid fish in commercial fish farming/V. B. Murashkin // Fish farming. — 2022. — № 3—4. — P. 28—30.
8. Petrova, E. A. Algorithm for taking blood from different species of animals [Electronic resource]: textbook / E. A. Petrova; Krasnoyar. state. agrarian un-t. — Krasnoyarsk, 2024. — 115 p.
9. Tsyplyakov, A. E. Pathomorphogenesis of adipose dystrophy/A.E. Tsyplyakov//Pathological anatomy of

вотных. — Екатеринбург : Уральский государственный аграрный университет, 2023. — С. 24—28.

10. Шабунин С. В. [и др.]. Способ диагностики жировой дистрофии печени карпа обыкновенного (*Cyprinus Carpio*) : пат. 2858585 Рос. Федерация : МПК C12Q 1/686 (2018.01) / С. В. Шабунин, П. А. Паршин, Г. А. Востроилова, Е. В. Михайлов, и др. ; патентообладатель ФГБНУ «ВНИИПФиТ». — № 2025107726; заявл. 28.03.2025; опублик. 19.03.2026, Бюл. № 8.

11. Canedo A. et al. Micronucleus test and nuclear abnormality assay in zebrafish (*Danio rerio*): Past, present, and future trends //Environmental Pollution. — 2021. — Vol. 290. — P. 118019.

12. He X. N. et al. Aflatoxin B1 decreased flesh flavor and inhibited muscle development in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) //Animal Nutrition. — 2024. — Vol. 18. — P. 27—38.

13. Konar E. S. M. et al. Aging oocytes: exploring apoptosis and its impact on embryonic development in common carp (*Cyprinus carpio*) //Journal of Animal Science. — 2025. — Vol. 103. — P. skaf002.

14. Megarani D. V. et al. Comparative morphology and morphometry of blood cells in zebrafish (*Danio rerio*), common carp (*Cyprinus carpio carpio*), and tilapia (*Oreochromis niloticus*) // Journal of the American Association for Laboratory Animal Science. — 2020. — Vol. 59. — №. 6. — P. 673—680.

15. National Research Council. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. 8th ed. Washington, DC, The National Academies Press, 2011

16. Rahman H. et al. Effects of vitamin E supplemented feed on growth performance of fish: A review //J. Aqua. Fish. — 2023. — Vol. 7. — №. 070. — P. 2.

17. Ranzani-Paiva M. J. T., Pádua S. B., Tavares-Dias M., Egami M. I. Métodos para análise hematológica em peixes // Eduem, Maringá. — 2013. — 140 p.

18. Scocco P., De Felice E. Morphological and physiological research on fish //Animals. — 2025. — Vol. 15. — №. 11. — P. 1513.

19. Sula E. et al. Digital light microscopy as a tool in toxicological evaluation of fish erythrocyte morphological abnormalities // Microscopy Research and Technique. — 2020. — Vol. 83. — №. 4. — P. 362—369.

20. Suvarna K.S., Layton C., Bancroft J.D. Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques. 8th ed. Elsevier Health Sciences, 2018: 558.

21. Wang X. M. et al. Bicuculline ameliorates metabolic dysfunction—associated steatotic liver disease by inhibiting the nuclear factor—kappa B pathway and reducing lipid accumulation //World journal of gastroenterology. — 2025. — Vol. 31. — №. 17. — P. 105438.

animals. — Yekaterinburg: Ural State Agrarian University, 2023. — P. 24—28.

10. Shabunin S.V. [et al.]. Diagnostic technique for fatty liver dystrophy of common carp (*Cyprinus Carpio*): Pat. 2858585 Ros. Federation: MPK C12Q 1/686 (2018.01) /S. V. Shabunin, P. A. Parshin, G. A. Vostroilova, E. V. Mikhailov, E. V. Semenova et al.; patent holder FGBNU «VNIVIPFiT.» — № 2025107726; declared. 28.03.2025; publ. 19.03.2026, Bul. № 8.

11. Canedo A. et al. Micronucleus test and nuclear abnormality assay in zebrafish (*Danio rerio*): Past, present, and future trends //Environmental Pollution. — 2021. — Vol. 290. — P. 118019.

12. He X. N. et al. Aflatoxin B1 decreased flesh flavor and inhibited muscle development in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) //Animal Nutrition. — 2024. — Vol. 18. — P. 27—38.

13. Konar E. S. M. et al. Aging oocytes: exploring apoptosis and its impact on embryonic development in common carp (*Cyprinus carpio*) //Journal of Animal Science. — 2025. — Vol. 103. — P. skaf002.

14. Megarani D. V. et al. Comparative morphology and morphometry of blood cells in zebrafish (*Danio rerio*), common carp (*Cyprinus carpio carpio*), and tilapia (*Oreochromis niloticus*) // Journal of the American Association for Laboratory Animal Science. — 2020. — Vol. 59. — №. 6. — P. 673—680.

15. National Research Council. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. 8th ed. Washington, DC, The National Academies Press, 2011

16. Rahman H. et al. Effects of vitamin E supplemented feed on growth performance of fish: A review //J. Aqua. Fish. — 2023. — Vol. 7. — №. 070. — P. 2.

17. Ranzani-Paiva M. J. T., Pádua S.B., Tavares-Dias M., Egami M. I. Métodos para análise hematológica em peixes // Eduem, Maringá. — 2013. — 140 p.

18. Scocco P., De Felice E. Morphological and physiological research on fish //Animals. — 2025. — Vol. 15. — №. 11. — P. 1513.

19. Sula E. et al. Digital light microscopy as a tool in toxicological evaluation of fish erythrocyte morphological abnormalities // Microscopy Research and Technique. — 2020. — Vol. 83. — №. 4. — P. 362—369.

20. Suvarna K.S., Layton C., Bancroft J.D. Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques. 8th ed. Elsevier Health Sciences, 2018: 558.

21. Wang X. M. et al. Bicuculline ameliorates metabolic dysfunction—associated steatotic liver disease by inhibiting the nuclear factor—kappa B pathway and reducing lipid accumulation //World journal of gastroenterology. — 2025. — Vol. 31. — №. 17. — P. 105438.