https://doi.org/10.36038/2307-3497-2026-203-76-84
EDN: EBKARS

ТРУДЫ ВНИРО. 2026 г. Т. 203. С. 76-84
TRUDY VNIRO. 2026. V. 203. P. 76-84

УДК 639.337:597.5

Аквакультура

Картина крови и иммунный ответ в условиях транспортировки при высокой плотности у карпа обыкновенного

Г. И. Пронина, А. А. Кандыбин, В. Д. Чан, Э. В. Бубунец

Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А.Тимирязева (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева»), ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434
E-mail: gidrobiont4@yandex.ru
SPIN-код: Г.И.Пронина — 6162–9922; А.А.Кандыбин — 7013–9733; В.Д.Чан — 4558–6194; Э.В.Бубунец — 1182–1890.

Цель работы: оценить влияние стресса при транспортировке с высокой плотностью посадки на физиологическое состояние и гематологические параметры годовиков карпа (*Cyprinus carpio*).
Материалы и методы: эксперимент проведён на двух группах рыб (средняя масса 77,4 ± 27,7 г), транспортируемых в герметичных пакетах в течение 24 ч. Контрольная группа перевозилась с плотностью 175 г/л без кондиционера, опытная — с плотностью 368 г/л с добавлением промышленного водного кондиционера (1,25 мл/л). Кровь для анализа отбирали из хвостовой вены трижды: за неделю до эксперимента, сразу после транспортировки и через 6 часов восстановления. Определяли лейкоцитарную формулу, эритрограмму, индекс СПК (суммарный показатель клеток) и морфометрию эритроцитов методом световой микроскопии окрашенных мазков.
Новизна: впервые показано, что применение специализированного водного кондиционера позволяет безопасно увеличить плотность посадки карпа при транспортировке более чем в 2 раза (до 368 г/л), минимизируя стресс-индуцированные изменения гематологических показателей по сравнению со стандартным режимом.
Результаты: транспортировка вызвала острый стрессовый отклик в обеих группах: увеличение доли нейтрофилов и снижение доли лимфоцитов. Однако в опытной группе с кондиционером эти изменения были достоверно менее выражены (снижение лимфоцитов до 81,0% против 70,0% в контроле). Через 6 часов после транспортировки гематологические показатели рыб опытной группы восстановились до исходного уровня быстрее и полнее, чем в контрольной группе.
Практическая значимость: полученные данные доказывают эффективность использования водных кондиционеров для увеличения плотности посадки карпа при транспортировке без ущерба для его физиологического состояния. Выявленные гематологические маркеры (соотношение нейтрофилы/лимфоциты, индекс СПК) могут использоваться для оперативной оценки уровня стресса у рыб, что позволит оптимизировать логистику в аквакультуре и снизить экономические потери.

Ключевые слова: транспортировка, стресс, карп *Cyprinus carpio*, клетки крови, фагоцитарная активность, плотность посадки рыб, промышленный водный кондиционер.

Blood picture and immune response under high-density transport conditions in common carp

Galina I. Pronina, Anton A. Kandybin., Dat V. Tran, Eduard V. Bubunets

Russian State Agrarian University — Timiryazev Agricultural Academy («RSAU Timiryazev AA»), 49, Timiryazevskay St., Moscow, 127434, Russia

The aim of the work was to evaluate the effect of stress during transportation with high planting density on the physiological state and hematological parameters of yearling carp (*Cyprinus carpio*).
Methods: the experiment was conducted on two groups of fish (average weight 77,4 ± 27,7 g) transported in sealed bags for 24 hours. The control group was transported with a density of 175 g/l without air conditioning, the experimental group with a density of 368 g/l with the addition of an industrial water conditioner (1,25 ml/l). Blood was taken from the tail vein three times for analysis: one week before the experiment, immediately after transportation, and after 6 hours of recovery. The leukocyte formula, erythrogram, SPK index (total cell count) and morphometry of erythrocytes were determined by light microscopy of stained smears.
Novelty: it has been shown for the first time that the use of a specialized water conditioner makes it possible to safely increase the density of carp planting during transportation by more than 2 times (up to 368 g/l), minimizing stress-induced changes in hematological parameters compared to the standard regime.
Results: transportation caused an acute stress response in both groups: an increase in the proportion of neutrophils and a decrease in the proportion of lymphocytes. However, in the experimental group with air conditioning, these changes were significantly less pronounced (a decrease in lymphocytes to 81,0% versus 70,0% in the control). 6 hours after transportation, the hematological parameters of the fish in the experimental group recovered to their initial level faster and more completely than in the control group.

 © Автор(ы), 2026

Practical significance: the data obtained proves the effectiveness of using water conditioners to increase carp stocking density during transportation without compromising their physiological condition. The identified hematological markers (neutrophil/lymphocyte ratio, SPK index) can be used for rapid assessment of stress levels in fish, which will optimize logistics in aquaculture and reduce economic losses.

Keywords: transportation, stress, common carp *Cyprinus carpio*, blood cells, phagocytic activity, fish stocking density, industrial water conditioner.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортировка живой рыбы представляет собой ключевой этап в аквакультуре, от которого напрямую зависит экономическая эффективность всего производства, от выращивания до продажи [Luz, Favero, 2024]. Это особенно важно для таких ценных видов, как карп (*Cyprinus carpio* (L. 1758)) — одна из самых распространённых в мире и в России пород рыб для товарного разведения [Пищенко, Морузи, 2022]. Для оптимизации затрат транспортировка рыбопосадочного материала (мальков) часто осуществляется при высокой плотности посадки, что приводит к дефициту кислорода и накоплению отходов жизнедеятельности, вызывая у рыб стресс. Это, в свою очередь, негативно сказывается на их здоровье, выживаемости и повышает риск заболеваний [Gomes et al., 2003].

Гематологические исследования служат информативным методом оценки физиологического состояния рыб, позволяя выявлять адаптационные изменения в ответ на условия окружающей среды. Они предоставляют информацию о кислородтранспортной способности, состоянии иммунной системы, реакции на стресс, клеточной и генетической токсичности. Это позволяет ихтиопатологам и специалистам по аквакультуре своевременно принимать меры для корректировки условий содержания или лечения рыб, что может предотвратить развитие более серьёзных заболеваний и минимизировать риск потерь [Burgos-Aceves et al., 2019; Witeska et al., 2022].

Цель исследования: оценка влияние стресса при транспортировке с высокой плотностью посадки на физиологическое состояние и гематологические параметры годовиков карпа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись годовики чешуйчатого карпа средней массой 77,4 ± 27,7 г. Все особи были получены из единого потомства и до момента эксперимента содержались совместно в одном аквариуме объёмом 500 л при естественном фотопериоде. Кормление осуществлялось ежедневно стандартным комбикормом, который был исключён за 24 часа до транспортировки для опорожнения желудочно-кишечного тракта.

Непосредственно перед упаковкой рыба была случайным образом распределена по двум экспериментальным группам. Контрольная группа транспортировалась при плотности посадки 175 г/л, что соответствует верхней границе нормативных рекомендаций [Орлов и др., 1974]; в воду данной группы химические добавки не вносились. В экспериментальной группе плотность посадки была в 2,1 раза выше и составляла 368 г/л, при этом в транспортную среду добавлялся промышленный кондиционер в дозировке 1,25 мл/л для снижения концентрации аммиака и нитритов. Данный кондиционер Sera Toxivec (ранее обозначавшийся в публикациях авторов как препарат N1), который связывает ионы аммиака и нитритов, снижает токсичность метаболитов, стабилизирует pH и поддерживает кислородный режим, что позволяет увеличивать допустимую плотность посадки рыб [Кандыбин, Бубунец, 2025].

Всего в эксперименте использовали 6 транспортных пакетов (объёмом 8 л): по 3 пакета на каждую группу. В пакетах контрольной группы содержалось по 3 особи (общая численность 9 рыб), в пакетах опытной группы — по 4 особи (общая численность 12 рыб). Таким образом, экспериментальной единицей (повторностью) служил транспортный пакет.

Рыбу перевозили в салоне легкового автомобиля по кольцевому маршруту в пределах Москвы и Московской области (общая протяжённость 240 км). Начальной и конечной точкой маршрута являлась аквариальная лаборатория, расположенная по адресу: 127550, г. Москва, ул. Пасечная, д. 2 (учебный корпус № 4), ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. Выбор легкового автомобиля обусловлен необходимостью стандартизировать условия вибрации, характерные для малых форм перевозки рыб, исключив влияние авиационного фактора (перепады давления) и промышленного рефрижераторного транспорта.

Эксперимент был проведён в феврале 2025 г. Рыбу перевозили в полиэтиленовых пакетах объёмом 8 л с соотношением воды и кислорода 1:2, гер-

метично закрытых и размещённых в термоконтейнерах. Длительность транспортировки составляла 24 часа. Поддержание температуры на стабильном уровне 20,0 ± 1,0 °C в зимний период достигалось за счёт предварительной акклимации рыб (7 суток при 20 °C) и размещения контейнеров в отапливаемом салоне автомобиля (19–21 °C). Для объективной регистрации температурного режима в контрольных пакетах были размещены цифровые термометры с выносными датчиками; периодические замеры подтвердили, что отклонения температуры воды не превышали ±1,0 °C от исходного значения. После транспортировки адаптация к условиям аквариума осуществлялась постепенной частичной заменой воды каждые 15 минут, с полным переводом в отдельные аквариумы через 90 минут. Рыб взвешивали на весах «Лидер ВЭУ-6–1/2». Контроль водной среды включал измерение температуры, pH, концентрации растворённого кислорода, аммиака, углекислого газа, жёсткости и других гидрохимических показателей воды с использованием цифрового pH-метра Kelilong PH-009i, термооксиметра «САМАРА 2» и капельных тестов «НИЛПА». Для оценки гематологических показателей кровь у рыб брали из хвостовой вены прижизненно с помощью стерильного шприца, содержащего антикоагулянт гепарин. Фоновые пробы крови брали за неделю до начала эксперимента, а морфометрические измерения проводили непосредственно перед упаковкой рыб в транспортные пакеты, после завершения 24-часовой голодной выдержки, но до разделения особей на экспериментальные группы. Эксперимент проводили в три этапа: первый — непосредственно перед упаковкой (фон); второй — сразу после вскрытия пакетов (после 24 часов транспортировки); третий — через 6 часов после вскрытия пакетов (когда рыбы были возвращены в аквариумы). Отбор крови осуществляли у всех рыб прижизненно на каждом из трёх этапов, что позволило проследить индивидуальную динамику.

Мазки крови окрашивали по методу Паппенгейма в соответствии с методикой, описанной Г. И. Прониной и Н. Ю. Корягиной [2017]. Эритрограмму и лейкоцитарную формулу определяли методом дифференциального подсчёта на микроскопе МИКРОМЕД при увеличении 10×100 с подключённой камерой (ToupCam 9.0 MP, Китай), соединённой с компьютером через программное обеспечение ToupView. В каждой экспериментальной группе размер клеток и ядер эритроцитов измеряли с помощью программы ImageJ (версия 1.54g, США), чтобы оценить, происходили ли изменения в размере эритроцитов до, во время и после эксперимента.

Фагоцитарная активность оценивалась цитохимическим методом с бромфеноловым синим. Расчёт проводился по формуле:

$$СЦК = (0 \times H0 + 1 \times H1 + 2 \times H2 + 3 \times H3) / 100,$$

где H0, H1, H2, H3 — количество нейтрофилов, соответствующее каждому уровню классификации: 0 — гранулы катионного белка отсутствуют; 1 — выявляются единичные гранулы; 2 — гранулы занимают примерно 1/3 цитоплазмы; 3 — гранулы занимают 1/2 цитоплазмы и более.

Данные, полученные в ходе эксперимента, подвергались статистической обработке с использованием программы Microsoft Excel и пакета программ SPSS 20. Для минимизации влияния индивидуальной изменчивости на фоне ограниченного объёма выборки (n=3–4 на группу в каждой временной точке) была проведена гомогенизация подвыборок по массе тела (коэффициент вариации <10%), что позволило нивелировать влияние аллометрических факторов на гематологические параметры. Все данные прошли проверку на нормальность распределения (критерий Шапиро-Уилка). Для оценки достоверности межгрупповых различий использовались непараметрические критерии: для независимых выборок — U-критерий Манна-Уитни, для связанных (динамика в группе) — критерий Фридмана. Для верификации устойчивости результатов проведено сопоставление с параметрическими тестами. Результаты представлены в виде среднего значения ± стандартное отклонение (Mean ± SD). Различия считались статистически значимыми при $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные о качестве воды для контрольной и экспериментальной групп представлены в табл. 1. В аквариумах до и после эксперимента гидрохимические показатели оставались стабильными и находились в диапазоне, допустимом для содержания карпа, различий между временными точками не наблюдалось. В период транспортировки концентрации аммиака и нитритов в экспериментальной группе с добавлением кондиционера были значительно ниже, чем в контрольной группе без кондиционера. При этом уровень растворённого кислорода (O_2) в экспериментальной группе составил 13,5 мг/л, что ниже, чем в контрольной группе (16,5 мг/л).

Снижение концентрации O_2 в экспериментальной группе объясняется повышенной метаболической и дыхательной активностью рыб при высокой плотности посадки, что связано с применением кондиционера для воды. Использование кондиционера сни-

Таблица 1. Динамика гидрохимических показателей воды в условиях суточной транспортировки в ходе эксперимента карпа

Table 1. Dynamics of hydrochemical parameters of water in conditions of daily transportation during the experiment of carp

Показатели	До транспортировки		Сразу после транспортировки		Через 6 часов после транспортировки	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Температура воды	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C
O_2, мг/л	6,1	6,1	16,5	13,5	6,2	6,2
pH, ед.	7,7	7,7	6,34	6,35	7,7	7,8
CO_2, мг/л	3,8	3,8	100	85–87	3,8	3,8
NH_3, мг/л	0,036	0,036	0,014	0,006–0,014	0,036	0,036
NH_4^+, мг/л	2,0	2,0	2,0	1,0–2,0	2,0	2,0
NO_2^-, мг/л	0,3	0,3	0,2	0,01	0,3	0,3
NO_3^-, мг/л	10	10	6	2–3	10	10

жало ингибирующее действие аммиака и нитритов на газообмен, обеспечивая повышенную дыхательную активность рыб при высокой биомассе и ускоренное потребление растворённого кислорода [Кандыбин, Бубунец, 2025].

Параметры размера эритроцитов, соотношения эритроцитов и лейкоцитарная формула в три момента времени: до транспортировки, сразу после транспортировки и через 6 часов восстановления у контрольной группы (Контроль) и экспериментальной группы (Опыт) у карпа также были описаны (см. табл. 2).

Результаты показали, что в тот же момент времени не было статистически значимых различий ($p>0,05$) в размере эритроцитов между двумя группами на протяжении всех трёх экспериментальных фаз: длина эритроцитов варьировалась от 13,4 до 13,8 мкм, а ширина — от 7,5 до 8,1 мкм. Стоит отметить, что непосредственно после транспортировки площадь эритроцитов в обеих группах незначительно увеличилась по сравнению с периодом до транспортировки, однако эта разница не была статистически значимой.

В эритроцитарном профиле зрелые эритроциты постоянно сохраняли более высокую долю во всех трёх временных точках (колебалась от 85,7% до 91,4% в обеих группах), но доля молодых эритроцитов незначительно снизилась сразу после транспортировки и имела тенденцию к увеличению через 6 часов. Особенно в группе Опыт наблюдался наибольший процент увеличения (11%), и показатели вернулись к уровню до эксперимента. Постоянное присутствие незрелых эритроцитов в крови карпа до, сразу после транспортировки и через 6 часов адаптации свидетельствует об очень активном процессе кроветворения у карпа, вызванным снижением кислорода в водной среде. Данный факт показывает, что карп способен хорошо восстанавливается после транспортировки.

Наиболее чёткое различие между двумя группами проявилось в лейкоцитарной формуле. Сразу после транспортировки обе группы — и контрольная, и экспериментальная — продемонстрировали реакцию на острый транспортный стресс: наблюдалось увеличение доли нейтрофилов и снижение доли лимфоцитов по сравнению с моментом до транспортировки.

Транспортировка вызвала у рыб обеих групп резкое увеличение бластных форм лейкоцитов, однако в контроле данный процесс был выражен сильнее. Такая активация лейкопоэза вероятно обусловлена увеличением содержания токсичных азотсодержащих веществ в воде. Через 6 часов миелобластов в обеих группах не обнаружено. Доля промиелоцитов снизилась практически до исходных значений. Всплеск увеличения процента миелоцитов отмечен только в контрольной группе сразу после транспортировки. Через 6 часов восстановления этих клеток в крови рыб обеих групп не обнаружено.

Значительно увеличилась доля незрелых палочкоядерных нейтрофилов: до 8% после транспортировки и 6,7% через 6 часов. Количество сегментоядерных нейтрофилов достоверно увеличивается в крови рыб обеих групп, через 6 часов в опытной группе значения снижаются почти вдвое. Транспортный стресс вызвал увеличение процента моноцитов сразу после транспортировки в обеих группах. Через 6 часов восстанавливаются первоначальные значения. Соответственно, доля лимфоцитов в крови рыб после транспортировки уменьшается, причем в контрольной группе значительнее. Через 6 часов наблюдается восстановление исходных значений.

Контрольная группа показала наиболее выраженную реакцию на острый стресс: доля лимфоцитов резко снизилась (с первоначальных 95,7% до 70,0%), в то время как гранулоцитарные линии, особенно

Таблица 2. Динамика размерно-весовых и гематологические показателей карпа в условиях суточной транспортировки
Table 2. Dynamics of size, weight and hematological parameters of carp in conditions of daily transportation

Показатели	До транспортировки		Сразу после транспортировки		Через 6 часов после транспортировки	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
	а	б	в	г	д	е
Размерно-весовые характеристики						
Ихтиомасса, г	179,4	380,4	173,7	366,0	172,8	365,6
Масса тела, г	59,8±5,3	95,1±29,5	57,9±5,1	91,5±28,4	57,6±5,1	91,4±28,3
Длина тела, см	14,4±0,4	16,7±1,8	14,4±0,4	16,7±1,8	14,4±0,4	16,7±1,8
Размеры эритроцитов						
Длина эритроцита	13,5±0,7[аб]	13,5±0,9[аб]	13,8±0,9[а]	13,7±0,8[аб]	13,7±0,9[аб]	13,4±0,6[б]
Ширина эритроцита	7,7±0,6[а]	7,5±0,6[а]	8,0±0,4[б]	8,0±0,6[б]	8,1±0,5[б]	8,0±0,4[б]
Длина ядра	5,0±0,4[а]	5,0±0,5[а]	5,2±0,5[а]	5,2±0,5[а]	5,2±0,4[а]	5,2±0,4[а]
Ширина ядра	3,1±0,4[а]	3,0±0,4[а]	2,8±0,3[б]	3,1±0,3[а]	3,0±0,3[а]	2,9±0,2[а]
Площадь эритроцита	81,8±4,7[аб]	81,2±5,1[б]	85,5±4,7[в]	84,6±6,6[ав]	84,8±7,9[ав]	82,1±5,5[аб]
Площадь ядра	12,5±3,0[а]	12,0±2,1[а]	12,3±1,6[а]	12,9±1,2[а]	12,8±1,4[а]	12,4±1,3[а]
Эритрограмма, %						
Гемоцитобласты, эритробласты	0,2±0,2	0,3±0,4	1,5±1,1	1,0 ±0,7	-	-
Базофильные нормобласты	1,0±0,7	1,7±0,4	1,6±0,4	0,3±0,4	1,0±1,2	3,3±2,0
Полихроматофильные нормобласты	7,7±5,1	10,3±1,5	5,7±2,9	7,3±2,9	7,8±0,7	11,0±2,5
Зрелые эритроциты	91,1±5,1	87,7±1,1	91,2±2,8	91,4±3,9	91,2±0,9	85,7±3,6
Лейкоцитарная формула, %						
Миелобласты	0,3±0,4	0,3±0,4	2,0±1,2[аб]	1,7±0,8	-	-
Промиелоциты	0,3±0,4	-	2,3±0,4[аб]	1,3±0,8	0,7±0,8б[в]	0,7±0,8б[в]
Миелоциты	0,7±0,4	0,3±0,4	3,7±1,1	-	1,3±1,1	-
Метамиелоциты	-	-	1,7±1,5	0,7±0,4	-	2,3±1,5
Палочкоядерные нейтрофилы	0,3±0,4	-	8,0±1,4[аб]	3,0±1,4[абв]	6,7±1,1[абг]	0,7±0,4б[вгд]
Сегментоядерные нейтрофилы	0,7±0,4	1,0±0,7	6,3±1,5[аб]	6,7±0,8[аб]	6,3±1,3[аб]	3,7±1,1[а]
Эозинофилы	1,0±1,2	0,3±0,4	2,3±1,8	2,3±0,4	0,7±0,4	1,0±1,2
Базофилы	-	0,3±0,4	0,7±0,4	0,3±0,4	-	-
Моноциты	1,0±0,7	-	3,0±1,9[аб]	3,0±2,4[аб]	1,3±1,1	1,0±0,7
Лимфоциты	95,7±2,9	97,7±1,1	70,0±2,8[аб]	81,0±2,4[абв]	82,0±5,1[аб]	90,7±2,9[абвг]
Лизосомально-катионный тест						
СЦК, ед.	1,6±0,1	1,6±0,1	1,2±0,0[аб]	1,3±0,1[аб]	1,1±0,0[аб]	1,1±0,0[аб]

Примечание. Различные буквенные обозначения (а, б, в, г, д, е) в одной строке указывают на статистически значимые различия ($p<0,05$) между группами.

нейтрофилы (промиелоциты, миелоциты, палочкоядерные и сегментоядерные нейтрофилы), значительно увеличились. Это указывает на иммунный ответ карпа в рамках реакции на транспортный стресс. Напротив, в опытной группе снижение доли лимфоцитов было менее выраженным (до 81,0%), и сохранялся более высокий уровень лимфоцитов, что свидетельствует о более стабильной иммунной системе, менее подверженной влиянию стресс-факторов транспортировки. Это может быть связано с тем, что в экспериментальной группе использовался кондиционер для воды, который помог стабилизировать параметры

окружающей среды во время транспортировки лучше, чем в контрольной группе без добавок. Через 6 часов после транспортировки, аналогично показателям эритроцитарного профиля, показатели лейкоцитарной формулы в обеих группах также приблизились к значениям, зафиксированным до транспортировки. Этот результат свидетельствует о значительной адаптивной и восстановительной способности карпа после воздействия транспортного стресса. Кроме того, показатели других клеток были низкими, что согласуется с предыдущими данными о том, что базофилы редко встречаются у большинства видов костистых рыб [Megarani et al., 2020].

ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения гематологических показателей не только часто используются в качестве индикаторов стресса, отражающих физиологические изменения у рыб при воздействии острого или хронического стресса [Dobšíková et al., 2009], но также рассматриваются как полезный и недорогой инструмент для оценки состояния здоровья рыб [Witeska et al., 2022]. В данном исследовании карп продемонстрировал адаптивные физиологические реакции на изменение качества воды в процессе транспортировки (повышенная концентрация CO_2, снижение pH) по сравнению с параметрами среды в аквариуме до эксперимента. Что касается размера эритроцитов, некоторые авторы полагают, что при гипоксии у рыб обмен Na^+/H^+ приводит к изменению осмотического давления в эритроцитах, вызывая их немедленное набухание. Это увеличивает способность к транспорту кислорода в условиях стресса, вызванного недостатком кислорода и гиперкапнией, а также под влиянием адреналина [Thomas, Perry, 1992; Shu et al., 2022]. Напротив, Мартемьянов (2013) считает, что при стрессе набухание эритроцитов незначительно, а возросшая потребность организма в кислороде компенсируется за счёт выброса дополнительных эритроцитов из депо в кровь [Martemyanov, 2013]. В данном исследовании нами не было зафиксировано существенных различий в объёме эритроцитов во время транспортировки. Следовательно, необходимы дальнейшие углублённые исследования для лучшего понимания механизмов реакции эритроцитов на стресс в условиях транспортировки.

Кровь карпа, как и большинства костистых рыб, лимфоидного типа. Гранулоциты представлены нейтрофилами (большая часть), редко базофилами и эозинофилами разной степени зрелости [Никитенко и др., 2022]. Транспортировка вызвала стресс у карпа в обеих группах. Рыбы продемонстрировали адаптивные реакции, наиболее отчётливо выраженные в увеличении доли нейтрофилов и снижении доли лимфоцитов в периферической крови. Данный результат также согласуется с предыдущими исследованиями на карпе, которые реагируют на стресс, вызванный транспортировкой, плотностью посадки, увеличением концентрации глюкозы, кортизола, нейтрофилов и снижением лимфоцитов [Микряков и др., 2007; Martinez-Porchas et al., 2009; Dobšíková et al., 2009]. Количество нейтрофилов и лимфоцитов меняется в противоположных направлениях под воздействием стресса — явление, распространённое у всех позвоночных, от млекопитающих и птиц до амфибий, рептилий и рыб [Davis et al., 2008]. Увеличение количества нейтрофилов в крови, вызванное стрессом, сопровождается уменьшением количества нейтрофилов в кроветворных органах рыбы, почках и голове [Klak et al., 2024]. Согласно исследованиям Dhabhar [2002], острый или хронический стресс и гормоны глюкокортикоиды вызывают значительное уменьшение количества лимфоцитов в крови. Это снижение лимфоцитов или перераспределение лейкоцитов в крови не связано с масштабным разрушением клеток, а представляет собой процесс перераспределения клеток из крови в другие компартменты организма, вызванный глюкокортикоидами. Данное перераспределение рассматривается как адаптивная реакция, которая может усилить иммунный ответ в органах, куда мигрируют лейкоциты в период стресса.

Помимо выявленных изменений клеточного состава крови, в обеих группах было зафиксировано статистически значимое снижение индекса СЦК после транспортировки (с 1,6 до 1,1 ед.), что указывает на прямое функциональное угнетение лизосомальных компонентов неспецифического иммунитета. Данное снижение является следствием острой стресс-реакции, инициированной активацией гипоталамо-гипофизарно-интерреналовой (HPI) оси и сопровождающейся повышенной секрецией кортизола [Wendelaar Bonga, 1997; Schreck, Tort, 2016].

Одновременно с нейроэндокринной реакцией на стресс условия транспортировки формируют дополнительную физиологическую нагрузку. Повышение плотности посадки и вынужденная двигательная активность усиливают стрессовое воздействие, что, как показано ранее, приводит к снижению иммунной реактивности рыб и угнетению неспецифических механизмов защиты [Ellis et al., 2002].

Именно последовательностью этих взаимосвязанных механизмов объясняется наблюдаемое в настоящем исследовании явление: восстановление функционального показателя СЦК происходило более медленно по сравнению с нормализацией количествен-

ных гематологических параметров. Это свидетельствует о том, что функциональные иммунологические маркеры, такие как индекс СЦК, реагируют на стресс глубже и дольше, отражая не только клеточный состав крови, но и степень метаболического и гормонального воздействия на иммунную систему [Schreck, Tort, 2016].

Добавление кондиционера для воды значительно снизило стресс, вызванный транспортировкой, у карпа. Группа Опыт, получавшая химический кондиционер, показала более стабильные гематологические параметры под воздействием транспортного стресса по сравнению с группой Контроль. Эта стабильность проявилась во многих аспектах: стабильная лейкоцитарная формула, быстрое восстановление кроветворения, минимизация иммуносупрессии, ограниченное снижение лимфоцитов и менее выраженное увеличение нейтрофилов. Данный результат согласуется с предыдущими исследованиями, в которых добавление кондиционеров для воды, пробиотиков способствовало стабилизации клеточного состава крови и иммунитета [Wang et al., 2023; Eissa et al., 2024] и было полезным для рыб в снижении стресса от транспортировки [Adah et al., 2023].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперимент показал, что применение 1,25 мл/л кондиционера для воды Sera Toxivec снижает негативное воздействие транспортного стресса у карпа и позволяет осуществлять перевозку рыб с повышенной плотностью посадки (368,0 г/л в течение 24 часов). За счёт действия кондиционера снижается концентрация аммиака и нитритов в воде. Что компенсирует стресс-реакцию от транспортировки, снижая нейтрофилопоэз и увеличивая долю лимфоцитов в лейкограмме по сравнению с контрольным вариантом. Низкое содержание лизосомального катионного белка в нейтрофилах крови опытных рыб указывает на снижение фагоцитарной активности. Таким образом, анализ эритрограммы и лейкограммы служит надёжным показателем для оценки транспортного стресса у карпа, а также демонстрирует, что добавление кондиционера для воды способствует стабилизации клеточного состава крови, снижению стресса и может улучшить выживаемость и восстановление рыб после транспортировки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе авторов, без привлечения внешнего финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

Кандыбин А.А., Бубунец Э.В. 2025. Динамика кислородного режима при транспортировке карповых рыб в герметичных ёмкостях // Исследования молодых учёных в реализации приоритетов научно-технологического развития в области животноводства. Сб. тез. докл. молодеж. науч. конф. пос. Дубровицы. С. 111–112.

Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Микряков Д.В. 2007. Влияние транспортировки на состав лейкоцитов периферической крови карпа *Cyprinus carpio* L. // Вопросы рыболовства. Т. 8. № 2(30). С. 209–214.

Никитенко А.И., Пронина Г.И., Орлов А.М., Артеменков Д.В., Строганов А.Н., Беляев В.А. 2022. О периферической крови у трёх видов рыб с разной экологией (Scombridae и Berycidae) // Известия РАН. Сер. биол. № 6. С. 661–667.

Орлов Ю.И., Кружалина Е.И., Аверина И.А, Ильичева Т.И. 1974. Транспортировка живой рыбы в герметических ёмкостях. М.: Пищевая промышленность. 97 с.

Пищенко Е.В., Морузи И.В. 2022. Мировые тенденции и перспективы выращивания карпа // Перспективы и возможности отрасли. С. 164–177.

Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. 2017. Методология физиолого-иммунологической оценки гидробионтов. СПб.: Лань. 96 с

Adah D.A., Adah A.S., Nwonuma C.O., Olaosebikan B., Oyekunle T. 2023. The Ameliorative effects of ascorbic acid on hematological and water quality parameters following a 100 km transportation of adult *Clarias gariepinus* // Media Kedokteran Hewan. V. 34. № . 1. P. 13–26. DOI: 10.20473/mkh.v34i1.2023.13-26

Burgos-Aceves M.A., Lionetti L., Faggio C. 2019. Multidisciplinary haematology as prognostic device in environmental and xenobiotic stress-induced response in fish // Science of The Total Environment. V. 670. P. 1170–1183. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.275.

Davis A.K., Maney D.L., Maerz J.C. 2008. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists // Functional Ecology. V. 22. № 5. P. 760–772. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x.

Dhabhar F.S. 2002. A hassle a day may keep the doctor away: stress and the augmentation of immune function // Integrative and Comparative Biology. V. 42. № 3. P. 556–564. DOI: 10.1093/icb/42.3.556.

Dobšíková R., Svobodová Z., Bláhová J., Modrá H., Velíšek J. 2009. The effect of transport on biochemical and haematological indices of common carp (*Cyprinus carpio* L.) // Czech Journal of Animal Science. V. 54. № 11. P. 510–518. DOI: 10.17221/52/2009-CJAS

Eissa E.S.H., Okon E.M., Abdel-Warith A.W.A., Younis N.A., Gewaily M.S., Mahmoud S.F., El-Deriny M.M.E., Ahmed S.A., Mahmoud M.A., Dawood M.A.O. 2024. In-water *Bacillus*

species probiotic improved water quality, growth, hemato-biochemical profile, immune regulatory genes and resistance of Nile tilapia to *Aspergillus flavus* infection // Aquaculture International. V. 32. P. 7087–7102. DOI: 10.1007/s10499-024-01503-6.

Ellis T., North B., Scott A. P., Bromage N. R., Porter M., Gadd D. 2002. The effects of crowding and exercise on the immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Fish & Shellfish Immunology. V. 12. № 3. P. 239–254. DOI: 10.1006/fsim.2001.0368

Gomes L. C., Araujo-Lima C.A.R.M., Roubach R., Chippari-Gomes A.R., Lopes N. P. 2003. Effect of Fish Density During Transportation on Stress and Mortality of Juvenile Tambaqui *Colossoma macropomum* // Journal of the World Aquaculture Society. V. 34. № 1. P. 76–84. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2003.tb00041.x.

Klak K., Maciuszek M., Pijanowski L., Marcinkowska M., Homa J., Verburg-van Kemenade B. M.L., Rakus K., Chadzinska M. 2024. Evolutionarily conserved mechanisms regulating stress-induced neutrophil redistribution in fish // Frontiers in Immunology. V. 15. P. 1330995. DOI: 10.3389/fimmu.2024.1330995

Luz R. K., Favero G. C. 2024. Use of Salt, Anesthetics, and Stocking Density in Transport of Live Fish: A Review // Fishes. V. 9. № 7. P. 286. DOI: 10.3390/fishes9070286.

Martemyanov V. I. 2013. Patterns of changes in sodium content in plasma and erythrocytes of freshwater fish at stress // Journal of Ichthyology. V. 53. № 3. P. 220–224. DOI: 10.1134/s0032945213020094.

Martinez-Porchas M., Martinez-Cordova L.R., Ramos-Enriquez R. 2009. Cortisol and glucose: Reliable indicators of fish stress? // Pan-American Journal of Aquatic Sciences. V. 4. № 2. P. 158–178.

Megarani D. V., Hardian A. B., Arifianto D., Santosa C. M., Salasia S. I.O. 2020. 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. V. 59. № 6. P. 673–680. DOI: 10.30802/AALAS-JAALAS-20-000013.

Schreck C. B., Tort L. 2016. The concept of stress in fish // Fish Physiology / C. B. Schreck, L. Tort, A. P. Farrell, C. J. Brauner eds. V. 35. London: Academic Press. P. 1–34. DOI: 10.1016/B978-0-12-802728-8.00001-1

Shu J. J., Heuer R. M., Hannan K. D., Stieglitz J. D., Benetti D. D., Rummer J. L., Grosell M., Brauner C. J. 2022. Enhanced oxygen unloading in two marine percomorph teleosts // Comparative Biochemistry and Physiology Pt A: Molecular & Integrative Physiology. V. 264. P. 111101. DOI: 10.1016/j.cbpa.2021.111101.

Thomas S., Perry S. F. 1992. Control and consequences of adrenergic activation of red blood cell Na+/H+ exchange on blood oxygen and carbon dioxide transport in fish // Journal of Experimental Zoology. V. 263. № 2. P. 160–175. DOI: 10.1002/jez.1402630206.

Wang L. G., Liu M. Q., Xie X. D., Sun Y. B., Zhang M. L., Zhao Y. et al. 2023. Effects of different water quality regulators on growth performance, immunologic function, and domestic water quality of GIFT tilapia // PLoS ONE. V. 18. № 8. P. e0290854. DOI: 10.1371/journal.pone.0290854.

Wendelaar Bonga S. E. 1997. The stress response in fish // Physiological Reviews. V. 77. № 3. P. 591–625. DOI: 10.1152/physrev.1997.77.3.591

Witeska M., Kondera E., Lugowska K., Bojarski B. 2022. Hematological methods in fish — Not only for beginners // Aquaculture. V. 547. P. 737498. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737498.

REFERENCES

Kandybin A. A., Bubunets E. V. 2025. Dynamics of the oxygen regime during the transportation of cyprinid fish in sealed containers // Research of Young Scientists in the Implementation of Priorities for Scientific and Technological Development in Animal Husbandry. Coll. of abstr. of the Youth Scientific Conference. Dubrovitsy. P. 111–112. (In Russ.)

Mikrjakov V. R., Balabanova L. V., Mikrjakov D. V. 2007. Influence of transportation on structure leukocytes of peripheral blood carp *Cyprinus carpio* L. // Problems of fisheries. V. 8. № 2(30). P. 209–214. (In Russ.)

Nikitenko A. I., Pronina G. I., Orlov A. M., Artemenkov D. V., Stroganov A. N., Belyaev V.A. 2022. On the peripheral blood of three fish species with different ecology (Scombridae and Berycidae) // Izvestiya RAS. Ser. Biological. № 6. P. 661–667. (In Russ.)

Orlov Yu.I., Kruzhalina E. I., Averina I. A. Ilyicheva T. I. 1974. Transportation of live fish in hermetic containers: a reference guide. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'. 97 p. (In Russ.)

Pishchenko E. V., Moruzi I. V. 2022. Global trends and prospects for carp farming // Prospects and Opportunities of the Industry. P. 164–177. (In Russ.)

Pronina G. I., Koryagina N.Yu. 2017. Methodology for physiological and immunological assessment of aquatic organisms. Saint Petersburg: Lan'. 96 p. (In Russ.)

Adah D.A., Adah A. S., Nwonuma C. O., Olaosebikan B., Oyekunle T. 2023. The Ameliorative effects of ascorbic acid on hematological and water quality parameters following a 100 km transportation of adult *Clarias gariepinus* // Media Kedokteran Hewan. V. 34. № . 1. P. 13–26. DOI: 10.20473/mkh.v34i1.2023.13-26

Burgos-Aceves M.A., Lionetti L., Faggio C. 2019. Multidisciplinary haematology as prognostic device in environmental and xenobiotic stress-induced response in fish // Science of The Total Environment. V. 670. P. 1170–1183. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.275.

Davis A. K., Maney D. L., Maerz J. C. 2008. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists // Functional Ecology. V. 22. № 5. P. 760–772. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x.

Dhabhar F. S. 2002. A hassle a day may keep the doctor away: stress and the augmentation of immune function //

Integrative and Comparative Biology. V. 42. № 3. P. 556–564. DOI: 10.1093/icb/42.3.556.

Dobšíková R., Svobodová Z., Bláhová J., Modrá H., Velíšek J. 2009. The effect of transport on biochemical and haematological indices of common carp (*Cyprinus carpio* L.) // Czech Journal of Animal Science. V. 54. № 11. P. 510–518. DOI: 10.17221/52/2009-CJAS

Eissa E. S.H., Okon E. M., Abdel-Warith A.W.A., Younis N. A., Gewaily M. S., Mahmoud S. F., El-Deriny M.M.E., Ahmed S.A., Mahmoud M. A., Dawood M.A.O. 2024. In-water *Bacillus* species probiotic improved water quality, growth, hemato-biochemical profile, immune regulatory genes and resistance of Nile tilapia to *Aspergillus flavus* infection // Aquaculture International. V. 32. P. 7087–7102. DOI: 10.1007/s10499-024-01503-6.

Ellis T., North B., Scott A. P., Bromage N. R., Porter M., Gadd D. 2002. The effects of crowding and exercise on the immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Fish & Shellfish Immunology. V. 12. № 3. P. 239–254. DOI: 10.1006/fsim.2001.0368

Gomes L. C., Araujo-Lima C.A.R.M., Roubach R., Chippari-Gomes A.R., Lopes N. P. 2003. Effect of Fish Density During Transportation on Stress and Mortality of Juvenile Tambaqui *Colossoma macropomum* // Journal of the World Aquaculture Society. V. 34. № 1. P. 76–84. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2003.tb00041.x.

Klak K., Maciuszek M., Pijanowski L., Marcinkowska M., Homa J., Verburg-van Kemenade B. M.L., Rakus K., Chadzinska M. 2024. Evolutionarily conserved mechanisms regulating stress-induced neutrophil redistribution in fish // Frontiers in Immunology. V. 15. P. 1330995. DOI: 10.3389/fimmu.2024.1330995

Luz R. K., Favero G. C. 2024. Use of Salt, Anesthetics, and Stocking Density in Transport of Live Fish: A Review // Fishes. V. 9. № 7. P. 286. DOI: 10.3390/fishes9070286.

Martemyanov V. I. 2013. Patterns of changes in sodium content in plasma and erythrocytes of freshwater fish at stress // Journal of Ichthyology. V. 53. № 3. P. 220–224. DOI: 10.1134/s0032945213020094.

Martinez-Porchas M., Martinez-Cordova L.R., Ramos-Enriquez R. 2009. Cortisol and glucose: Reliable indicators of fish stress? // Pan-American Journal of Aquatic Sciences. V. 4. № 2. P. 158–178.

Megarani D. V., Hardian A. B., Arifianto D., Santosa C. M., Salasia S. I.O. 2020. 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. V. 59. № 6. P. 673–680. DOI: 10.30802/AALAS-JAALAS-20-000013.

Schreck C. B., Tort L. 2016. The concept of stress in fish // Fish Physiology / C. B. Schreck, L. Tort, A. P. Farrell, C. J. Brauner eds. V. 35. London: Academic Press. P. 1–34. DOI: 10.1016/B978-0-12-802728-8.00001-1

Shu J. J., Heuer R. M., Hannan K. D., Stieglitz J. D., Benetti D. D., Rummer J. L., Grosell M., Brauner C. J. 2022. Enhanced oxygen unloading in two marine percomorph teleosts // Comparative Biochemistry and Physiology Pt A: Molecular & Integrative Physiology. V. 264. P. 111101. DOI: 10.1016/j.cbpa.2021.111101.

Thomas S., Perry S. F. 1992. Control and consequences of adrenergic activation of red blood cell Na+/H+ exchange on blood oxygen and carbon dioxide transport in fish // Journal of Experimental Zoology. V. 263. № 2. P. 160–175. DOI: 10.1002/jez.1402630206.

Wang L. G., Liu M. Q., Xie X. D., Sun Y. B., Zhang M. L., Zhao Y. et al. 2023. Effects of different water quality regulators on growth performance, immunologic function, and domestic water quality of GIFT tilapia // PLoS ONE. V. 18. № 8. P. e0290854. DOI: 10.1371/journal.pone.0290854.

Wendelaar Bonga S. E. 1997. The stress response in fish // Physiological Reviews. V. 77. № 3. P. 591–625. DOI: 10.1152/physrev.1997.77.3.591

Witeska M., Kondera E., Lugowska K., Bojarski B. 2022. Hematological methods in fish — Not only for beginners // Aquaculture. V. 547. P. 737498. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737498.

Поступила в редакцию 29.01.2026 г.
Принята после рецензий 13.03.2026 г.