

СОСТОЯНИЕ ДВУХ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ У МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.К. Минеев

Институт экологии Волжского бассейна РАН, Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Тольятти, Россия

Эл. почта: mineev7676@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22.02.2024; принята к печати 16.05.2024

Суммированы результаты многолетних гематологических исследований (1998–2013 гг.) десяти массовых видов рыб Саратовского водохранилища и трех его притоков: плотва (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758), лещ (*Abramis brama* Linnaeus, 1758), густера (*Blicca bjoerkna* Linnaeus, 1758), уклейка (*Alburnus alburnus* Linnaeus, 1758), окунь (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758), щука (*Esox lucius* Linnaeus, 1758), бычок-кругляк (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814), бычок-головач (*Neogobius iljini* Vasiljeva et Vasiljev, 1966), бычок-цүцүк (*Proterorhinus marmoratus* Pallas, 1814), головешка-ротан (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877). В последние десятилетия среди рыб разных видов высока доля особей с различными нарушениями гематологических параметров, что мы связываем, прежде всего, с загрязнением воды водохранилища. У рыб указанных видов исследовано соотношение клеток эритроидного и лимфоидного рядов крови и доля основных форм лейкоцитов среди клеток белой крови. Обнаружена зависимость возникновения выявленных нарушений в гематологических параметрах рыб от содержания в воде некоторых загрязнителей, таких как медь и фенол. Связь нарушений с уровнями марганца и органических загрязнителей (индекс сапробности по зоопланктону) не была статистически значимой. Вследствие неспецифического характера обнаруженных гематологических нарушений встречаемость однотипных отклонений в клеточном составе крови не зависит от видовой принадлежности обследованных особей. Показана возможность использовать исследованные гематологические параметры рыб для оценки влияния некоторых токсикантов (медь, фенол).

Ключевые слова: Саратовское водохранилище, гематологические параметры рыб.

THE CONDITIONS OF TWO HEMATOLOGICAL PARAMETERS IN MASS SPECIES OF FISH OF SARATOV RESERVOIR

A.K. Mineyev

Institute of Volga Basin Ecology, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Togliatti,
Russia

Email: mineev7676@mail.ru

The results of long-term (1998–2013) hematological studies of ten mass fish species of the Saratov Reservoir and three of its tributaries are summed up. The species are: roach (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758), bream (*Abramis brama* Linnaeus, 1758), white bream (*Blicca bjoerkna* Linnaeus, 1758), bleak (*Alburnus alburnus* Linnaeus, 1758), perch (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758), pike (*Esox lucius* Linnaeus, 1758), round goby (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814), round-headed goby (*Neogobius iljini* Vasiljeva et Vasiljev, 1966), candied goby (*Proterorhinus marmoratus* Pallas, 1814), Amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877). Over the past decades, the proportion of individuals with various disorders of hematological parameters among fish of different species was high. We attribute this primarily to water pollution. The ratio of erythroid and lymphoid blood cells and the proportion of the main forms of leukocytes among white blood cells were studied. Regression analysis confirmed the statistical significance of the association of the prevalence of hematological disorders with water levels of copper and phenols. The dependencies of the prevalence of the hematological disorders on the levels of manganese and organic pollutants (zooplankton saprobity index) were not statistically significant. Because of the nonspecific nature of the detected hematological disorders, the prevalence levels of specific types of hematological disorders do not depend on species. The possibility of using the studied hematological parameters to assess the effect of certain toxicants (Cu, phenol) on fish is shown.

Keywords: Saratov reservoir; hematological parameters of fish.

Введение

Любое внешнее воздействие (изменение природных условий, загрязнение среды обитания или применение кормовых добавок в рыбоводстве) активирует механизмы иммунитета, обеспечивающие немедленное и кратковременное реагирование на него. В связи с этим в естественных условиях рыбы оказываются более чувствительными к загрязнению среды обитания, чем к различным инфекциям, так как в ответ на инфицирование адаптивные механизмы иммунореактивности у рыб играют меньшую роль, чем у наземных позвоночных [18]. Различные форменные элементы и плазма крови являются неотъемлемой составляющей всей иммунной системы позвоночных животных. Организация иммунной системы у рыб позволяет ей развивать все формы иммунного ответа, встречающиеся у наземных позвоночных животных, однако водная среда обитания определяет характерные особенности иммунной системы у рыб – она более лабильна. Таким образом, иммунологические параметры рыб можно использовать в качестве одного из критериев экологического состояния водной среды в системе комплексного биологического мониторинга экосистем различных водоемов и водотоков [16, 36].

Как правило, первичной реакцией на стрессовое воздействие является увеличение содержания кортизола в крови, оказывающего подавляющее действие на иммунную систему [43]. При сильном увеличении уровня кортизола неизбежно повышается уровень глюкозы и осмолярность крови, а фагоцитарная и цитотоксическая активность гранулоцитов снижается. Таким образом, уровни глюкозы и кортизола и осмолярность отрицательно коррелируют с клеточным иммунитетом [43]. Длительное сохранение повышенного уровня кортизола в плазме крови в результате стрессовых воздействий может ингибировать иммунную функцию организма, увеличивая восприимчивость рыб к различным патогенам. Под действием кортизола число лимфоцитов снижается, а гуморальные иммунные факторы, такие как лизоцим или комплемент, под влиянием стресса переходят в подавленное состояние [44].

Использование гематологических показателей рыб для мониторинга экологического состояния водоемов и в качестве показателей адаптаций отдельных особей ранее предлагалось неоднократно в составе различных методик. Комплексно, с позиций экологической ихтиогематологии исследовались гематологические показатели рыб с учетом гидрохимических параметров, при этом установлены закономерности функционирования системы крови рыб при адаптации к различным факторам среды [35].

Большинство гематологических показателей состояния иммунной системы рыб являются достаточно чуткими индикаторами загрязнения водных эко-

систем. На примере популяций леща (*Abramis brama* Linnaeus, 1758) из разных участков Верхнеульяновского плеса Куйбышевского водохранилища, характеризующихся экстремальными экологическими условиями, показана зависимость гематологических показателей (прежде всего – клеточного состава крови) от состояния среды обитания [3].

Данные факты подтверждены экспериментальными исследованиями динамики интегральных гематологических индексов рыб на фоне хронической экспериментальной интоксикации [12]. Установлено, что применение гематологических индексов у рыб может дать дополнительную информацию о течении токсического процесса и патологических процессов другой этиологии [12, 22].

Известно, что рыбы очень чувствительны к содержанию химических агентов в воде и отвечают на их присутствие изменениями как в белой, так и в красной крови, даже если их концентрация не превышает рыбохозяйственных ПДК [13, 14, 17], тем более что действие различных токсикантов может суммироваться и усиливаться (аддитивный и синергический эффекты).

Показано также, что в первую очередь в ответ на продолжающееся воздействие неблагоприятных факторов, вслед за изменениями биохимических показателей, возникают нарушения в гематологических параметрах, прежде всего – в лейкоцитарной формуле. В условиях эксперимента у всех подопытных рыб на фоне действия токсикантов наблюдается смещение лейкоцитарной формулы в сторону увеличения гранулоцитов, что свидетельствует о начале воспалительных процессов [12, 30]. У особей, подвергшихся, например, фенольной интоксикации, наблюдается снижение числа лимфоцитов на фоне повышения числа базофилов, что указывает на повышение фагоцитарной активности и включение компенсаторных механизмов. Такое же воздействие на кровеносную систему рыб оказывает интоксикация медью [30]. Можно заключить, что токсическая среда вызывает иммунный дефицит, и, как следствие этого, возникают воспалительные процессы [23]. Уменьшение относительного количества лимфоцитов и увеличение содержания нейтрофилов характеризуется как неспецифическая реакция на воздействие широкого ряда токсикантов (фенол, нафталин и т. д.) [1]. Сублетальные концентрации тяжелых металлов, в частности – меди и кадмия, вызывают в организме карповых рыб общую неспецифическую стрессовую реакцию иммунной системы [12, 21]. При этом в первую очередь разрушению подвергались клетки гемопоэтической и лимфомиелоидной тканей, система кровоснабжения органов.

Ранее было установлено [26, 28], что гематологические параметры рыб разных видов в условиях Саратовского водохранилища подвержены негативным

изменениям под воздействием различных неблагоприятных факторов (в том числе при влиянии антропогенных загрязнений).

В Саратовском водохранилище сложилась неблагоприятная ситуация для естественного воспроизводства рыб. Постоянное присутствие в воде различных загрязнителей привело к тому, что тяжелые металлы и другие поллютанты стали накапливаться в рыбах [2], и отмечаются многочисленные морфофизиологические нарушения, в частности – разнообразные гематопатологии и сдвиги в гематологических параметрах, у половозрелых особей данного региона [26, 27].

В воде изучаемых водоемов периодически отмечалось превышение рыбохозяйственных ПДК для загрязняющих веществ. Например, содержание общего железа в воде Саратовского водохранилища превышало ПДК в 1,2–3,6 раза, в 1999–2000 годах в воде р. Чапаевка около г. Чапаевска обнаружены хлорорганические пестициды, содержание которых в воде недопустимо, их концентрация в весенний период достигала 37 ПДК, однако подобные загрязнения имели, как правило, очаговый и непостоянный характер.

Негативное влияние на состояние воды волжских водохранилищ постоянно оказывают предприятия жилищно-коммунального хозяйства, энергетической и нефтехимической промышленности, поверхностный сток с сельхозугодий, а также ливневые стоки городских территорий [11]. При этом антропогенная нагрузка на основные притоки Саратовского водохранилища значительно ниже и складывается, в основном, из диффузных стоков с сельхозугодий, бытовых и промышленных стоков прибрежных населенных пунктов. В связи с этим качество воды водохранилища и его притоков, согласно критерию удельного комбинаторного индекса загрязненности воды – УКИЗВ, заметно различается. Соответственно, имеются заметные различия и в состоянии гематологических параметров у популяций рыб из самого водохранилища и из его притоков.

Одним из важных гематологических показателей благополучного состояния как отдельных особей, так и популяций рыб является соотношение клеток эритроидного и лимфоидного ряда крови. Для взрослых рыб большинства видов нормальным считается содержание в крови белых клеток, соответствующее 25,00–35,00% [13]. Установлено, что у рыб под воздействием различных загрязнений снижается функция иммунитета, по сравнению с таковой у рыб из незагрязненных участков обитания [32]. Эксперименты на плотве показали, что аккумуляция ртути приводит к уменьшению количества лимфоцитов и возрастанию количества моноцитов и нейтрофилов [38]. Аккумуляция кадмия также вызывает уменьшение количества лимфоцитов, повышение в кровяном русле клеток, обладающих фагоцитарной активностью, и разрушение миелоцитов

[37]. В то же время повышенное содержание в крови клеток лимфоидного ряда является признаком воспалительного процесса, что часто является следствием несоответствия условий обитания норме.

Целью настоящего исследования является анализ возможности использования изученных гематологических показателей рыб в качестве одного из критериев экологического состояния водной среды в системе комплексного биологического мониторинга водных экосистем.

Материал и методика исследований

Для мониторинговых гематологических исследований на Саратовском водохранилище и их притоках нами были выбраны наиболее массовые виды рыб – плотва (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758), лещ (*Abramis brama* Linnaeus, 1758), густера (*Blicca bjoerkna* Linnaeus, 1758), уклейка (*Alburnus alburnus* Linnaeus, 1758), окунь (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758), щука (*Esox lucius* Linnaeus, 1758), бычок-кругляк (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814), бычок-головач (*Neogobius iljini* Vasiljeva et Vasiljev, 1966), бычок-цуцик (*Proterorhinus marmoratus* Pallas, 1814), головешка-ротан (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877). Изученные виды различаются по экологическим характеристикам: биотопам, пищевым предпочтениям, продолжительности жизни (длинноцикловые и короткоцикловые), особенностям нереста и т. д.

Сбор материала производили в весенне-осенний период 1998–2013 годов на одиннадцати контрольных створах Саратовского водохранилища и трех его притоков: реки Самара, Съезжая и Большой Кинель. Лов осуществляли при температурах воды от 15 до 22 °С с учетом оптимальных среднесезонных значений, чтобы исключить возможное стрессовое влияние температурного фактора на изучаемые параметры. Перед выловом рыб методами сетного лова и при помощи крючковых снастей производили отборы проб воды для выявления концентраций меди, марганца и фенолов, являющихся в Саратовском водохранилище наиболее распространенными и стабильными загрязнителями. Также учитывали официальные данные по загрязненности воды данными поллютантами [7–11] на контрольных станциях водных объектов, совпадающих с нашими в период проведенных исследований.

Индексы сапробности по зоопланктону определялись по методу Пантле и Букка [40] в лабораторных условиях. Согласно шкале оценки качества вод на исследованных станциях значение индексов сапробности по зоопланктону варьировало в пределах 1,50–2,50 (умеренно, слабо загрязненная вода, класс качества III – мезосапробные воды).

Основу выборки в Саратовском водохранилище (табл. 1) и его притоках (табл. 2) составляли половоз-

релье особи карповых рыб: плотвы, леща, густеры и уклейки в возрасте 3+–5+. Три вида бычков, которые вылавливались как в самом водохранилище, так и в р. Самара, также являлись массовыми видами и составляли обширную достоверную выборку половозрелых особей в возрасте 2+–3+. Данные виды рыб выбраны для проводимого исследования не только из-за их массовости, но и из-за однотипности реакций крови на неблагоприятные внешние воздействия, что было подтверждено соответствующими исследованиями [26, 29].

Кровь получали прижизненно из хвостовой вены посредством абляции хвоста. Препараты периферической крови изготавливали на месте вылова рыб, фиксировали этанолом и окрашивали по методу Романовского-Гимза. Затем у рыб изымали отоциты и пробы чешуи для последующего определения возраста [34]. Всего изготовлено и проанализировано 2629 препаратов периферической крови. Применяли стандартный непрямой метод подсчета форменных элементов крови [15, 39] с последующим анализом двух гематоло-

гических показателей. Подсчет клеток крови вели с помощью светооптического микроскопа «Биолам» и клавишного счетчика лейкоцитарной формулы СЛ-1 по стандартной методике [39].

Для оценки воздействий концентраций меди, марганца, фенола и комплекса органических загрязнителей на рыб вычислялись соотношение эритроцитов и лейкоцитов, индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ), который является в наших исследованиях одним из основных показателей состояния белой крови [13].

Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми методами [20] с применением программ Excel 2010, Statistica 12. Значимыми считали различия при $p \leq 0,05$. Рассчитывали средние с ошибками среднего ($M \pm m$). Для установления тенденций встречаемости особей с отклонениями в исследуемых гематологических параметрах при повышении ПДК загрязнителей применялся стандартный корреляционный анализ по Пирсону с уровнем значимости для одиннадцати степеней свободы (станций исследования) 0,55.

Табл. 1

Видовой состав и количество половозрелых рыб из Саратовского водохранилища, обследованных на отклонения в гематологических параметрах

Год	Число обследованных особей									
	Плотва	Лещ	Густера	Уклеика	Окунь	Щука	Бычок-кругляк	Бычок-головач	Бычок-цуцик	Головешка-ротан
1998	59	21	15	34	15	14	42	34	20	15
2000	61	19	13	47	20	–	48	29	17	15
2002	58	25	22	38	19	17	51	35	23	–
2004	59	23	14	52	15	–	44	15	15	17
2006	65	15	15	38	15	10	38	37	15	12
2008	46	15	19	36	23	–	47	28	15	10
2010	47	21	15	27	24	16	46	37	18	15
2012	67	17	24	28	22	–	39	19	22	11
2013	65	18	21	27	20	–	21	22	21	–
Общее число	527	174	158	327	173	57	376	256	166	95
	2309									

Табл. 2

Видовой состав и количество половозрелых рыб из притоков Саратовского водохранилища, обследованных на отклонения в гематологических параметрах

Река	Период исследования, годы	Число обследованных особей
Самара	2012, 2013	Плотва – 54, бычок-кругляк – 58
Съезжая	2013	Плотва – 61, уклейка – 36
Большой Кинель	2012	Плотва – 111
Общее число обследованных особей	2012–2013	320

Результаты и обсуждение

В период наших исследований, как и на протяжении последних десятилетий, Саратовское водохранилище испытывает значительную антропогенную нагрузку, а качество воды в нем в среднем характеризуется как «умеренно загрязненная» 3-го класса качества. В этот водоем производится основной сброс сточных вод от водопользователей Самарской области [4, 7–11]. Сложившаяся экологическая ситуация имеет хронический характер, вследствие чего на популяции гидробионтов оказывается постоянный пресс негативных абиотических факторов, что не может не отразиться отрицательно на качественном и количественном состоянии этих популяций.

Проведенные исследования показали, что количество рыб с нормальным уровнем лейкоцитов в кровяном русле различается в водоемах с различным гидрологическим режимом и уровнем антропогенной нагрузки.

В Саратовском водохранилище лишь среди плотвы доля особей с нормальным соотношением лейкоцитов и эритроцитов ($46,1 \pm 2,43\%$) превышает число рыб с пониженным содержанием лейкоцитов в крови ($39,2 \pm 2,38\%$) [29]. У остальных девяти массовых видов рыб основу популяции составляли особи с признаками лейкопении – пониженного содержания лейкоцитов в крови, доля таких особей варьировала от $49,1 \pm 4,70\%$ у бычка-головача до $68,4 \pm 2,77\%$ среди бычка-кругляка (рис. 1) [26, 29]. Значительна доля рыб с первичными признаками воспалительного процесса, то есть с повышенным ($35,00$ – $50,00\%$) содержанием лейкоцитов. У густеры и щуки процент таких особей достигал $23,7 \pm 2,85\%$ и $25,7 \pm 5,11\%$ соответственно.

Среди плотвы, леща, густеры, уклейки, окуня, бычка-кругляка и ротана-головешки Саратовского водохранилища зафиксированы также особи с патологически высоким содержанием лейкоцитов в кровяном русле, что является признаком сильного воспалительного процесса в организме, сопровождаемого количественным перераспределением различных форм лейкоцитов. В популяциях леща и уклейки процент таких рыб достигал $8,50 \pm 1,63$ и $13,36 \pm 1,94\%$ соответственно (рис. 1).

В обследованных притоках Саратовского водохранилища основу популяций изученных видов рыб составили особи с нормальным соотношением лейкоцитов и эритроцитов ($25,0$ – $35,0\%$ лейкоцитов [13]). Максимальное количество здоровых рыб отмечено среди уклейки из р. Съезжая – $58,1 \pm 7,61\%$, которая является притоком второго порядка, а минимальное – $42,6 \pm 6,79\%$ у плотвы из того же водоема (рис. 2).

Несмотря на то что рыбы с патологически высоким содержанием лейкоцитов, то есть с признаками активного воспалительного процесса, не встречались во всех трех обследованных притоках Саратовского

водохранилища, доля особей с пониженным содержанием лейкоцитов, то есть с подавленными функциями иммунитета, была велика среди всех обследованных видов при минимальном количестве таких особей среди уклейки из р. Съезжая ($20,9 \pm 6,28\%$); у плотвы из устьевого участка реки Самара их процент достигал $42,4 \pm 6,49\%$. Значительна также доля особей с повышенным содержанием лейкоцитов в крови в популяции бычка-кругляка из реки Самара – $26,42 \pm 6,11\%$ (рис. 2).

На основе результатов, полученных в 2012–2013 годах, установлено, что встречаемость особей из контрольных станций Саратовского водохранилища и его притоков с нарушенным соотношением лейкоцитов и эритроцитов в кровяном русле статистически связана с загрязнением воды медью (Cu) и фенолами. В данных случаях порог значимости по Пирсону равен $0,55$ (для 11 степеней свободы), а значимость зависимости изучаемого параметра от ПДК Cu ($R^2 = 0,6511$) и фенола ($R^2 = 0,7001$) выше данного порога, следовательно, выявленная зависимость достоверна (рис. 3). В то же время достоверная зависимость данного показателя от содержания в воде органических загрязнителей и марганца (Mn) не наблюдалась: и в том, и в другом случае R^2 существенно ниже порога значимости ($0,1482$ и $0,277$) (рис. 3).

Таким образом, в наиболее загрязненном водоеме, каким является Саратовское водохранилище, большинство особей среди разных видов рыб имеют недостаточное количество лейкоцитов в кровяном русле для нормального функционирования иммунной системы, что является следствием воздействия различных загрязнителей. Многочисленные исследования доказали, что загрязнение окружающей среды влияет на иммунную систему рыб именно таким образом [25, 38, 42].

Дальнейшие исследования показали, что у большинства обследованных особей среди изученных видов рыб из разных водоемов зафиксировано нарушение соотношения основных форм лейкоцитов в составе белой крови. Данный показатель – индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ) адекватно отражает отклонения в лейкоцитарной формуле и является надежным критерием состояния отдельной особи [1]. Нарушениями являются как повышение относительного содержания незрелых нейтрофильных клеток в периферической крови, что приводит к увеличению значения ИСЛ, так и снижение доли палочкоядерных нейтрофилов и присутствие гиперсегментированных ядер на фоне повышения доли лимфоцитов и моноцитов, что приводит к понижению значения ИСЛ [13]. Иными словами, ИСЛ является отношением гранулоцитов и агранулоцитов. У разных видов рыб допустимое значение ИСЛ может отличаться; в частности, у большинства рыб семейства *Cyprinidae* нормальное значение ИСЛ соот-

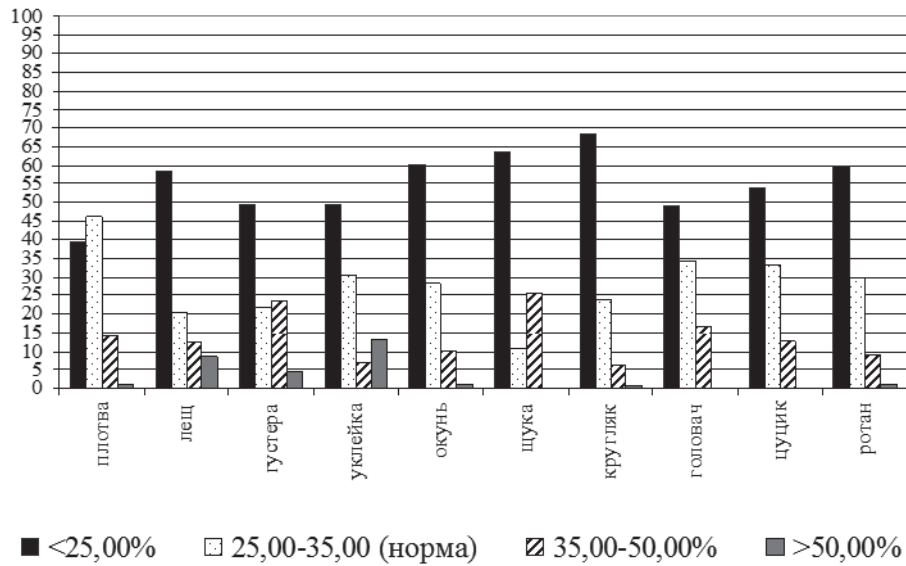


Рис. 1. Встречаемость особей (%) с различным содержанием лейкоцитов в крови среди рыб Саратовского водохранилища (на основе обобщенных данных за весь период исследования, $p \leq 0,01$) (по [26] с изменениями)

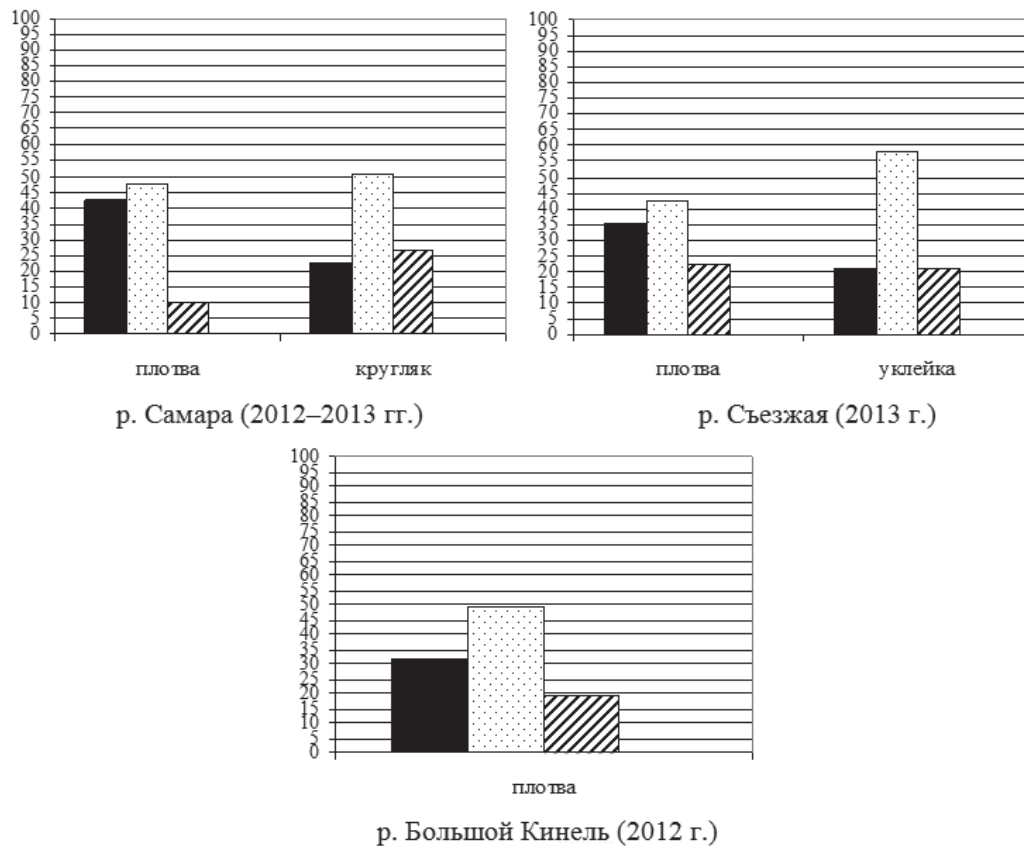


Рис. 2. Встречаемость особей (%) с различным содержанием лейкоцитов в крови среди рыб из притоков Саратовского водохранилища (на основе обобщенных данных за весь период исследования, $p \leq 0,05$) (обозначения – как на рис. 1)

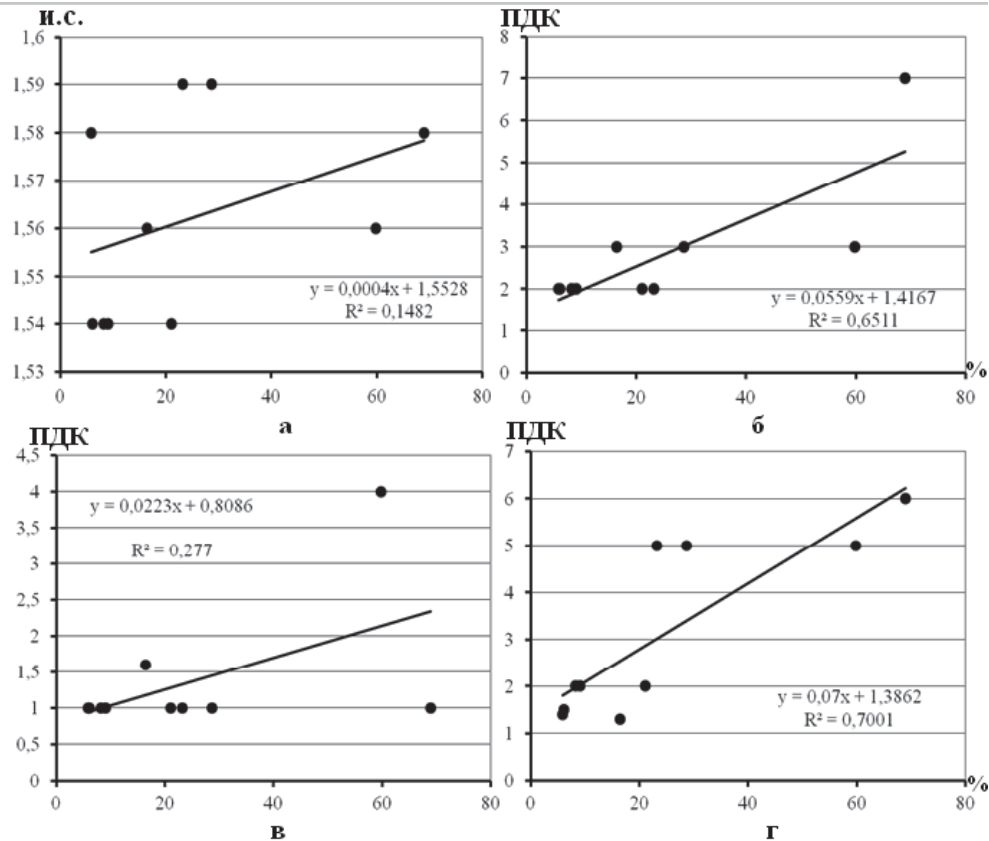


Рис. 3. Корреляции между встречаемостью особей (%) с нарушенным соотношением лейкоцитов и эритроцитов и **а** – индексом сапробности (и. с.) по зоопланктону, а также содержанием в воде (кратность превышения ПДК): **б** – Cu; **в** – Mn; **г** – фенолов (на основе данных 2012–2013 годов)

ветствует 0,30 [13]. Сдвиг показателя ИСЛ в ту или иную сторону от условной нормы является признаком заболевания или усиленного негативного пресса со стороны окружающей среды, а высокая частота встречаемости таких особей является признаком неблагополучия популяции в целом, особенно если велика также доля рыб с ненормальным уровнем нормобластов и лейкоцитов в кровяном русле.

Повышение показателя ИСЛ является симптомом таких заболеваний, как нейтрофилез и эозинофилия. Нейтрофилез вызывается повышением доли нейтрофильных гранулоцитов (окрашивающихся нейтрально, в оттенки серого и светло-голубого цветов) среди лейкоцитов.

Эозинофилия является повышением количества эозинофильных гранулоцитов, данные клетки окрашиваются стандартными методами в оттенки красного, ярко-розового и малинового цветов. В норме данные виды гранулоцитов должны содержаться в белой крови, но их количество должно быть в два-три раза ниже, чем количество лимфоцитов и моноцитов, которые являются агранулоцитами [13].

По мнению некоторых авторов [6, 19, 24, 41] у рыб в большинстве случаев отмечается лейкоцитоз в при-

сутствии каких-либо загрязнителей. При этом наблюдается нейтрофилез, а остальные показатели весьма разнородны: могут быть как лимфоцитоз, так и лимфоцитопения – пониженное содержание лимфоцитов, как моноцитоз, так и моноцитопения, эозинофилия или число эозинофилов остается неизменным.

Нейтрофильный лейкоцитоз со сдвигом в сторону увеличения доли палочкоядерных нейтрофилов наблюдается, как правило, при оформленных воспалительных процессах и различных интоксикациях [31, 41], и его можно рассматривать как адаптационный механизм, повышающий защитную функцию крови в условиях воздействия комплекса неблагоприятных факторов [33].

Наши исследования показали, что за весь период исследования в Саратовском водохранилище доля рыб с нормальным соотношением разных форм гранулоцитов и агранулоцитов (индекс соотношения лейкоцитов, ИСЛ), не превышала $28,1 \pm 2,19\%$ среди плотвы, тогда как минимальное число здоровых по данному показателю особей зафиксировано среди бычка-пучка – $6,4 \pm 3,09\%$ (рис. 4).

Среди всех обследованных видов рыб Саратовского водохранилища доля особей с нормальным значением

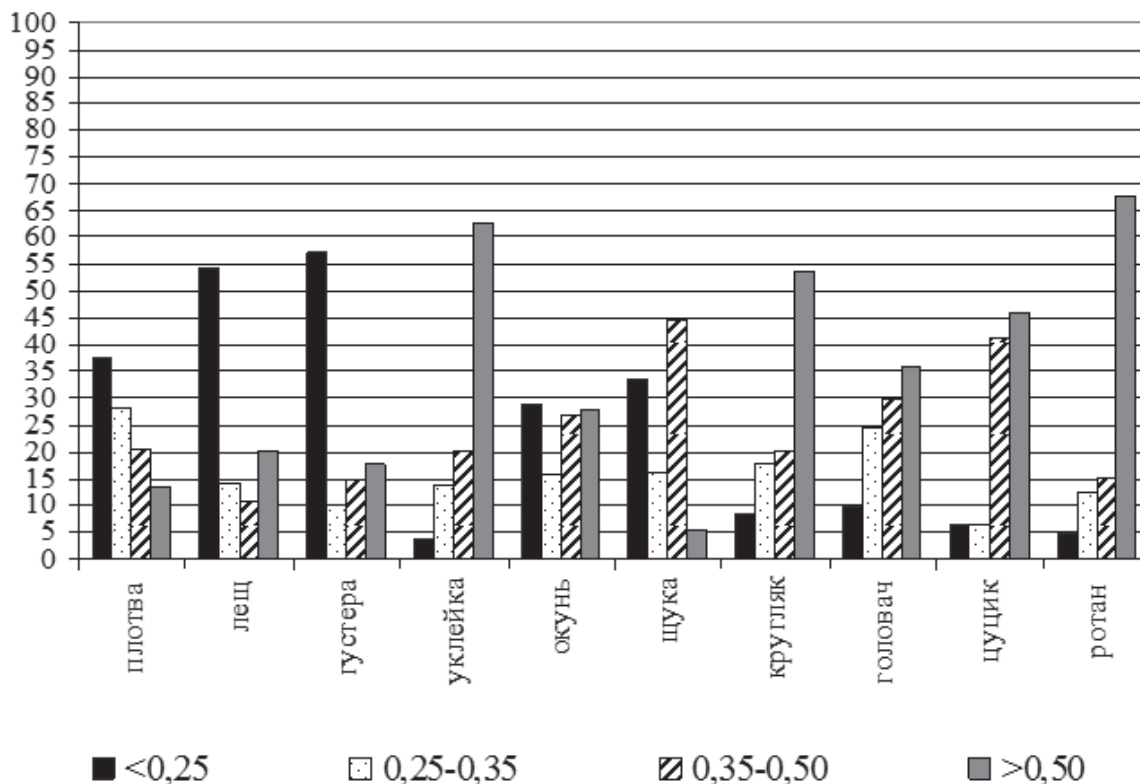


Рис. 4. Встречаемость особей (%) с различным показателем ИСЛ среди разных видов рыб Саратовского водохранилища (на основе обобщенных данных за весь период исследования, $p \leq 0,01$) (по [26] с изменениями)

ИСЛ была значительно ниже, чем доля особей с различными отклонениями в данном гематологическом показателе. В то же время встречаемость рыб с различными отклонениями в соотношении гранулоцитов и агранулоцитов среди разных видов отличается определенной неоднородностью.

Так, основу популяций особи с пониженным значением ИСЛ, то есть с преобладанием лимфоцитов и моноцитов над эозинофилами и различными формами нейтрофилов, составили среди плотвы ($37,8 \pm 2,36\%$), леща ($54,4 \pm 2,91\%$), густеры ($57,1 \pm 3,31\%$) и окуня ($29,1 \pm 2,73\%$) (рис. 4). Лимфоцитоз среди данных видов является признаком высокого загрязнения окружающей среды. В то же время среди уклейки ($62,5 \pm 2,77\%$), бычка-кругляка ($53,6 \pm 2,98\%$), бычка-головача ($35,9 \pm 4,52\%$), бычка-цуцика ($46,0 \pm 6,33\%$) и ротана-головешки ($67,6 \pm 2,97\%$) Саратовского водохранилища основу популяций составляли особи с патологически высоким содержанием гранулоцитов в белой крови (рис. 4), то есть количество нейтрофилов, эозинофилов и базофилов значительно преобладало над числом лимфоцитов и моноцитов. Такая картина белой крови свидетельствует, как правило, о том, что адаптационные процессы, выражающиеся в незначительном

повышении значений ИСЛ за счет повышения нейтрофильных гранулоцитов, перешли у большинства особей в хроническую форму, что впоследствии провоцирует различные некрозы и дистрофии внутренних органов и тканей.

Лишь у щуки Саратовского водохранилища основную массу обследованных особей ($44,6 \pm 5,82\%$) составили рыбы со слабовыраженным повышением ИСЛ, что можно считать первичной адаптационной реакцией на неблагоприятные воздействия среды, однако и процент особей с пониженным показателем ИСЛ среди щуки также высок – $33,8 \pm 5,44\%$ (рис. 4).

В притоках Саратовского водохранилища, как и в случае с другими, проанализированными выше, гематологическими показателями, соотношение особей с нормальным и измененным показателем ИСЛ отличается от такового в самом водохранилище. В трех обследованных притоках среди изученных видов рыб преобладают особи с нормальным показателем ИСЛ, их доля в популяциях варьирует от $38,6 \pm 6,51\%$ среди плотвы из р. Б. Кинель до $75,9 \pm 5,87\%$ у плотвы из р. Сызжая (рис. 5).

Как и в случае встречаемости рыб с нарушениями общего содержания лейкоцитов в кровяном русле,

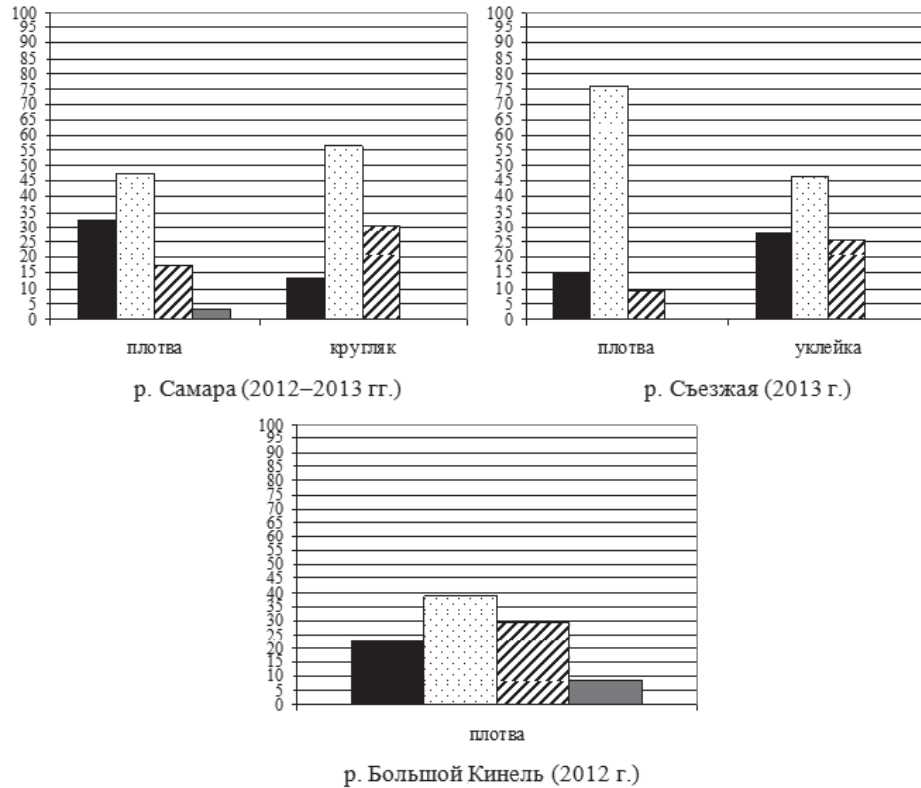


Рис. 5. Встречаемость особей (%) с различным показателем ИСЛ среди разных видов рыб из притоков Саратовского водохранилища (на основе обобщенных данных за весь период исследования, $p \leq 0,05$) (обозначения, как на рис. 4)

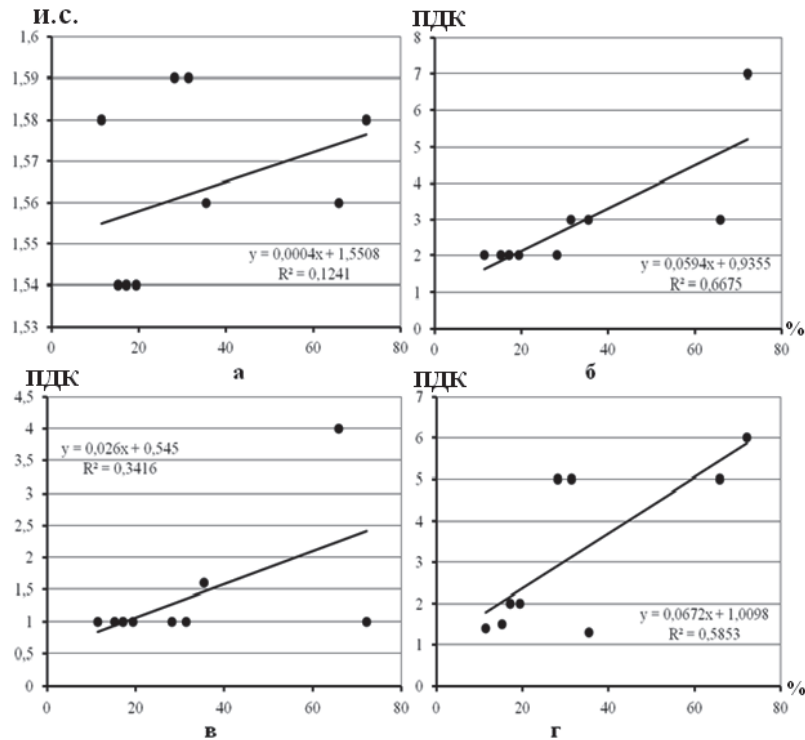


Рис. 6. Корреляции между встречаемостью особей (%) с нарушенным соотношением лейкоцитов и эритроцитов и α – индексом сапробности (и. с.) по зоопланктону, а также содержанием в воде (кратность превышения ПДК): б – Cu; в – Mn; г – фенолов (на основе данных 2012–2013 годов)

процент особей с нарушенным соотношением гранулоцитов и агранулоцитов в белой крови на контрольных станциях Саратовского водохранилища и его притоков статистически связан с загрязнением воды медью (Cu) и фенолами (рис. 6). Значимость данной зависимости для Cu равна 0,6675, а для фенола – 0,5853, выше порога значимости в 0,55. В то же время зависимость встречаемости рыб с нарушениями ИСЛ от содержания органических загрязнителей, выражающихся величиной индекса сапробности по зоопланктону, и содержанием марганца (Mn) недостоверна, так как величина значимости (0,1241 для и. с. и 0,3416 для ПДК Mn) ниже порога значимости (0,55).

Заключение

Таким образом, установлено, что встречаемость особей с различными отклонениями в изученных гематологических параметрах в популяциях рыб Саратовского водохранилища и его притоков не зависит от видовой принадлежности, таксономического происхождения и экологических предпочтений особей, но находится в значимой зависимости от присутствия в водоеме меди и фенолов, ПДК которых стабильно превышены на станциях исследования на протяжении всего периода исследований.

Обнаружение однотипных отклонений в гематологических параметрах у представителей разных видов рыб (как у карповых и окуневых, так и у бычковых) в сходных экологических условиях указывает на неспецифический характер данных физиологических нарушений.

Полученные при гематологическом анализе особей разных видов результаты позволяют констатировать,

что наиболее загрязненным, а следовательно, менее пригодным для успешной жизнедеятельности рыб является Саратовское водохранилище, подвергающееся хроническому воздействию бытовых и промышленных загрязнений в районах прибрежных крупных населенных пунктов – гг. Тольятти, Самара, Сызрань, Хвалынский, Балаково. В то же время особи разных видов рыб из обследованных притоков водохранилища находятся в более благоприятных условиях вследствие менее выраженной загрязненности данных водотоков. В популяциях рыб из притоков Саратовского водохранилища встречаемость особей с исследованными нарушениями гематологических параметров значительно ниже, чем в самом водохранилище, а основу популяций составляют особи без тех или иных гематологических отклонений.

Несмотря на то что при возможной нормализации условий обитания (снижении уровня загрязнений) некоторые гематологические параметры могут возвращаться к состоянию нормы в силу повышенной реактивности крови, то есть могут считаться обратимыми, в большинстве случаев этого не происходит, так как загрязнение Саратовского водохранилища имеет хронический характер. При этом возникающие у рыб гематопатологии приобретают хроническую форму и вызывают последующие тканевые патологии, которые, в свою очередь, являются необратимыми.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 1021060107212-5-1.6.20; 1.6.19. «Изменение, устойчивость и сохранение биологического разнообразия под воздействием глобальных изменений климата и интенсивной антропогенной нагрузки на экосистемы Волжского бассейна».

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Балабанова ЛВ, Микряков ВР. Сравнительная характеристика действия нафталина и фенола на показатели белой крови карася *Carassius carassius* (L.). Биология внутренних вод. 2002;(2):100-2.
2. Батоян ВВ, Сорокин ВН. Микроэлементы в рыбах Куйбышевского водохранилища. Экология. 1989;(6):81-4.
3. Богатов ВВ, Назаренко ВА. Об использовании гематологических показателей для мониторинга экосистемы на примере популяции леща (*Abramis brama* L.) Верхнеульяновского плеса Куйбышевского водохранилища. Самарская Лука. 2004;(15):300-2.
4. Выхристюк ЛА, Варламова ОЕ, Марченко НА. Химический состав воды и донных отложений. Экологическое состояние бассейна реки Чапаевка в условиях антропогенного воздействия (Биологическая индикация). Тольятти: ИЭВБ РАН; 1996.
5. Головина НА, Тромбицкий ИД. Гематология прудовых рыб. Кишинев: Штиинца; 1989.
6. Гольдин ВМ. Некоторые гематологические показатели рыб Камского водохранилища в связи с загрязнением промышленными стока-

- ми. Ученые записки Пермского университета. 1975;338:123-31.
7. Комитет по охране окружающей среды Самарской области. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Самарской области в 1996 году. Выпуск 4. Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области. Самара; 1997.
 8. Комитет по охране окружающей среды Самарской области. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Самарской области в 1999 году. Выпуск 9. Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области. Самара; 2000.
 9. Комитет по охране окружающей среды Самарской области. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Самарской области в 2000 году. Выпуск 11. Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области. Самара; 2001.
 10. Министерство природопользования, лесного хозяйства и окружающей среды Самарской области. Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области в 2008 г. Выпуск 19. Самара; 2009.
 11. Министерство лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области. Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2011 год. Выпуск 22. Самара; 2012.
 12. Егорова ВИ, Волкова ИВ. Динамика интегральных гематологических индексов рыб при хронической интоксикации. Рыбное хозяйство. 2024;1:81-8.
 13. Житенева ЛД, Рудницкая ОА, Калюжная ТИ. Эколого-гематологические характеристики некоторых видов рыб. Справочник. Ростов н/Д.: АЗНИИРХ; 1997.
 14. Заботкина ЕА, Камшилова ТБ, Комов ВТ. Некоторые гематологические характеристики окуня (*Perca fluviatilis*) из водоемов северо-запада России. Материалы Международной конференции «Озера холодных регионов». Ч. 5. «Вопросы ресурсосведения, ресурсопользования, экологии и охраны»; 22–26 июня 2000; Якутск: Изд-во ЯГУ; 2000. С. 31-8.
 15. Иванова НТ. Атлас клеток крови рыб (сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб). М.: Легкая и пищевая промышленность; 1983.
 16. Калинина МВ. Картина крови молоди кеты (*Oncorhynchus keta*) как индикатор загрязнения водоемов тяжелыми металлами. Материалы Международной научной конференции «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах»; 27–29 мая 2002; М.: МГУ; 2002. С. 123.
 17. Каниева НА. Изменение гематологических показателей у рыб в зависимости от уровня сублетальных концентраций нефти. Материалы Международной конференции «Современные проблемы Каспия»; 24–25 декабря 2002; Астрахань: КаспНИРХ; 2002. С. 130-2.
 18. Кондратьева ИА, Киташова АА. Функционирование и регуляция иммунной системы рыб. Иммунология. 2002;23(2):97-101.
 19. Котов АМ. Сезонная динамика гематологических показателей у некоторых черноморских рыб и их изменение при экспериментальном отравлении нефтепродуктами. Гидробиологический журнал. 1976;12(4):63-8.
 20. Лакин ГФ. Биометрия. М.: Высшая школа; 1990.
 21. Лапинова ТБ, Заботкина ЕА, Балабанова ЛВ, Микряков ВР, Назарова ЕА, Бубенкова ЕВ. Реакция иммунной системы карпа на действие сублетальной концентрации кадмия. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы уникальных природных и антропогенных ландшафтов»; 16–17 декабря 2004; Ярославль: Ярославский гос. ун-т; 2004. С. 229-34.
 22. Леонов ВВ, Павлова ОН, Гуленко ОН и соавт. Интегральные гематологические индексы как способ оценки реактивных изменений крови на нагрузку антиоксидантами. Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2022;4:133-40.
 23. Ложичевская ТВ, Ружинская ЛП, Дорошева НГ, Рудницкая ОА. Физиологическое состояние пиленгаса в Азовском море. Тезисы докладов международного семинара «Современные проблемы физиологии и экологии морских животных (рыбы, птицы, млекопитающие)»; 11–13 сентября 2002; Ростов н/Д.: Эверест; 2002. С. 110-1.
 24. Метелев ВВ. Токсичность и некоторые вопросы механизма действия пропанида на организм рыб. Труды ВНИИ ветеринарной санитарии. 1974;50:72-5.
 25. Микряков ВР, Балабанова ЛВ, Заботкина ЛА. Реакция иммунной системы на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука; 2001.
 26. Минеев АК. Морфологический анализ и патологические изменения структуры клеток крови у рыб Саратовского водохранилища. Вопросы ихтиологии. 2007;47(1):93-100.

27. Минеев АК. Некоторые гематологические параметры бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Саратовского водохранилища. Известия СНЦ РАН. 2013;15(3):222-8.
28. Минеев АК. Морфофункциональные изменения у плотвы (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) Саратовского водохранилища. Вопросы рыболовства. 2014;15(2):282-98.
29. Минеев АК. Современное морфофизиологическое состояние массовых видов рыб в экологических условиях водоемов и водотоков бассейна Средней и Нижней Волги (диссертация). Тольятти: ИЭВБ РАН; 2017.
30. Михайлова ЛП. Основные результаты исследования состояния клеток крови *Salmo trutta* L.P. на фоне токсических воздействий. Южно-Российский вестник геол геогр глобал энергии. 2004;(1):90-2.
31. Моисеенко ТИ. Морфологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории С.С. Шварца). Экология. 2000;(6):463-72.
32. Моисеенко ТИ. Водная экотоксикология. М.: Наука; 2009.
33. Пескова ТЮ. Адаптационные изменения земноводных в антропогенно загрязненной среде (диссертация). Тольятти: ИЭВБ РАН; 2004.
34. Правдин ИФ. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность; 1966.
35. Серпунин ГГ. Гематологические показатели адаптации рыб (диссертация). Калининград: Калинингр. гос. техн. ун-т; 2002.
36. Серпунин ГГ. Ихтиогематологические исследования как элемент биологического мониторинга водоемов. Наземные и водные экосистемы Северной Европы: управление и охрана. Материалы Международной конференции, посвященной 50-летию ин-та Карел. Науч. центра РАН; 8–11 сентября 2003; Петрозаводск: Ин-т биол. КарНЦ РАН; 2003. С. 130-1.
37. Степанова ВМ, Чуйко ГМ, Павлова ВФ. Хроническое действие кадмия на клетки ретикулярной ткани селезенки и периферической крови мозамбикской телпии (*Oreochromis mossambicus* Peters). Биология внутренних вод. 1998;(3):136-40.
38. Таликина МГ, Комов ВТ, Чеботарева ЮВ, Гремячих ВА. Комплексная оценка длительного воздействия ртути на молодь плотвы *Rutilus rutilus* в экспериментальных условиях. Вопросы ихтиологии. 2004;44(6):847-52.
39. Тимакова ТК, Флерова ЕА, Заботкина ЕА. Методы световой и электронной микроскопии в биологии и ветеринарии: учебно-методическое пособие. Ярославль: Изд-во ЯГСХА; 2014.
40. Совет Экономической Взаимопомощи. Унифицированные методы исследования качества воды. Методы биологического анализа вод. Второе издание. М.; 1975.

Общий список литературы/Reference List

- Balabanova LV, Mikryakov VR. [Comparative characteristics of the effects of naphthalene and phenol on the indices of white blood of crucian *Carassius carassius* (L.)]. *Biologiya Vnutrennikh Vod*. 2002;(2):100-2. (In Russ.)
- Batoyan VV, Sorokin VN. [Trace elements in the fish of the Kuibyshev reservoir]. *Ekologiya*. 1989;(6):81-4. (In Russ.)
- Bogatov VV, Nazarenko VA. [On the use of hematological indicators for ecosystem monitoring exemplified with a population of bream (*Abramis brama* L.) of the Verkhneulianovsky ples of the Kuibyshev reservoir]. *Samarskaya Luka*. 2004;(15):300-2. (In Russ.)
- Vykhristyuk LA, Varlamova OE, Marchenko NA. [The Chemical Composition of Water and Sediments. The Ecological State of Chapayevka River Basin under Conditions of Anthropogenic Impact (Biological Indication)]. *Tolyatti: IEVB RAN*; 1996. (In Russ.)
- Golovina NA, Trombitskiy ID. [Hematology of Pond Fish]. *Kishinev: Shtiintsa*; 1989.
- Goldin VM. [Some hematological indicators of fish of the Kama reservoir in connection with pollution by industrial effluents]. *Uchenye Zapiski Permskogo Universiteta*. 1975;338:123-31. (In Russ.)
- Komitet po Okhrane Okruzhayushchey Sredy Samarskoy Oblasti. [State Report on the Environmental Conditions in Samara Region in 1996. Issue 4. Environmental Safety and Sustainable Development of Samara Region]. *Samara*; 1997. (In Russ.)
- Komitet po Okhrane Okruzhayushchey Sredy Samarskoy Oblasti. [State Report on the Environmental Conditions in Samara Region in 1996. Issue 9. Environmental Safety and Sustainable Development of Samara Region]. *Samara*; 2000. (In Russ.)
- Komitet po Okhrane Okruzhayushchey Sredy Samarskoy Oblasti. [State Report on the Environmental Conditions in Samara Region in 2000. Issue 11. Environmental Safety and Sustainable Development of Samara Region]. *Samara*; 2001. (In Russ.)
- Ministerstvo Prirodopolzovaniya, Lesnogo Khozyaystva i Okruzhayushchey Sredy Samarskoy Oblasti. [State Report on Environmental Conditions and Natural Resources in Samara Region in 2008. Issue 19]. *Samara*; 2009. (In Russ.)

11. Ministerstvo Prirodopolzovaniya, Lesnogo Khozyaystva i Okruzhayushchey Sredy Samarskoy Oblasti. [State Report on Environmental Conditions and Natural Resources in Samara Region in 2011. Issue 22]. Samara; 2012. (In Russ.)
12. Yegorova VI, Volkova IV. [Changes in integral hematological indices in fish upon chronic intoxication]. *Rybnoye Khoziaystvo*. 2024;1:81-8. (In Russ.)
13. Zhiteneva LD, Rudnitskaya OA, Kaliuzhnaya TI. [Ecological and Hematological Characteristics of Some Fish Species. A Guide]. Rostov-na-Donu: AzNIIRKh; 1997. (In Russ.)
14. Zabotkina EA, Kamshilov TB, Komov VT. [Some hematological characteristics of perch (*Perca fluviatilis*) from reservoirs in northwestern Russia]. In: Oziora Kholodnykh Regionov; Yakutsk: Izdatelstvo UaGU; 2000. P. 31-8. (In Russ.)
15. Ivanova NT. [Atlas of Fish Blood Cells (Comparative Morphology and Classification of shaped elements of Fish Blood Cells)]. Moscow: Liogkaya i Pishchevaya Promyshlennost; 1983. (In Russ.)
16. Kalinina MV. [The blood pattern of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) as an indicator of pollution of reservoirs with heavy metals]. In: *Novye Tekhnologii v Zashchite Bioraznoobraziya v Vodnykh Ekosistemakh*. Moscow: MGU; 2002. P. 123. (In Russ.)
17. Kaniyeva NA. [Changes in hematological parameters in fish depending on the level of sublethal oil concentrations]. In: *Sovremennye Problemy Kaspiya*. Astrakhan: KaspNIRKh; 2002. P. 130-2. (In Russ.)
18. Kondratyeva IA, Kitashova AA. [Functioning and regulation of the immune system of fish]. *Immunologiya*. 2002;23(2):97-101. (In Russ.)
19. Kotov AM. [Seasonal dynamics of hematological parameters in some Black Sea fish and their changes in experimental poisoning with petroleum products]. *Gidrobiologicheskii Zhurnal*. 1976;12(4):63-8. (In Russ.)
20. Lakin GF. [Biometrics]. Moscow: Vyschaya Shkola; 1990. (In Russ.)
21. Lapirova TB, Zabotkina EA, Balabanova LV, Mikryakov VR, Nazarova EA, Bubenkova EV. [The reaction of the carp's immune system to the effect of sublethal cadmium concentration]. In: *Ekologicheskkiye Problemy Unikalnykh Prirodnikh i Antropogennykh Landshavtov*. Yaroslavl: Yaroslavskiy Gosudarstvennyi Universitet; 2004. P. 229-34. (In Russ.)
22. Leonov VV, Pavlova ON, Gulenko ON et al. [Integral hematological indices as a way to assess reactive blood changes to the load of antioxidants]. *Vestnik Novykh Meditsinskikh Tekhnologiy*. 2022;4:133-40. (In Russ.)
23. Lozhichevskaya TV, Ruzhinskaya LP, Dorosheva NG, Rudnitskaya OA. [Physiological state of pilengas in the Sea of Azov]. In: *Sovremennye Problemy Fiziologii i Ekologii Morskikh Zhivotnykh (Ryby, Ptitsy, Mlekopitayushchie)*. Rostov-on-Don: Everest; 2002. P. 110-1. (In Russ.)
24. Metelev VV. [Toxicity and some issues of the mechanism of action of propanide on fish body]. *Trudy VNII Veterinarnoy Sanitarii*. 1974;50:72-5. (In Russ.)
25. Mikriakov VR, Balabanova LV, Zabotkina EA. [The immune system response to water pollution with toxicants and to acidification of the environment]. Moscow: Nauka; 2001. (In Russ.)
26. Mineyev AK. [Morphological analysis and pathological changes in the structure of blood cells in fishes from Saratov reservoir]. *Voprosy Ikhtologii*. 2007;47(1):93-100. (In Russ.)
27. Mineyev AK. [Some hematological parameters of *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) of Saratov Reservoir]. *Izvestiya SNTs RAN*. 2013;15(3):222-8. (In Russ.)
28. Mineyev AK. [Morphological changes in roach (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) of Saratov Reservoir]. *Voprosy Rybolovstva*. 2014;15(2):282-98. (In Russ.)
29. Mineyev AK. [Current Morphophysiological Conditions of Common Fish Species in the Environmental Conditions of Reservoirs and Watercourses of the Middle and Lower Volga Basin]. PhD Theses. Tolyatti: IEVB RAN; 2017. (In Russ.)
30. Mikhaylova LP. [The main results of the study of the state of blood cells *Salmo trutta* L.P. against the background of toxic effects]. *Yuzhno-Rossiyskiy Vestnik Geologii Geografii i Globalnoy Energii*. 2004;(1):90-2. (In Russ.)
31. Moiseyenko TI. [Morphological rearrangements of fish organism under the influence of pollution (in the light of S.S. Schwartz's theory)]. *Ekologiya*. 2000;(6):463-72. (In Russ.)
32. Moiseyenko TI. [Aquatic Ecotoxicology]. Moscow: Nauka; 2009. (In Russ.)
33. Peskova TYu. [Adaptive Changes of Amphibians in an Anthropogenically Polluted Environment]. PhD Theses. Tolyatti: IEVB RAN; 2004. (In Russ.)
34. Pravdin IF. [A guide to the Study of Fishes (Mostly Freshwater Species)]. Moscow: Pishchevaya Promyshlennost; 1966. (In Russ.)
35. Serpudin GG. [Hematological Indicators of Fish Adaptations]. PhD Theses. Kaliningrad: Kaliningradskiy Gosudarstvennyi Tekhnicheskii Universitet; 2002. (In Russ.)

36. Serpunin GG. [Ichthyohematological studies as an element of biological monitoring of reservoirs]. In: [Terrestrial and Aquatic Ecosystems of Northern Europe: Management and Protection]. Materialy Mezhdunarodnoy Konferentsyi Posviashchionnoy 50-Letiyu Instituta Karelskogo Nauchnogo Tsentra RAN. Petrozavodsk: Institut Biologii KarNTs RAN; 2003. P. 130-1. (In Russ.)
37. Stepanova VM, Chuyko GM, Pavlova VF. [The chronic effect of cadmium on the cells of the reticular tissue of the spleen and peripheral blood of the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters)]. *Biologiya Vnutrennikh Vod.* 1998;(3):136-40. (In Russ.)
38. Talikina MG, Komov VT, Chebotaryeva YuV, Gremiachikh VA. [Comprehensive assessment of long-term mercury exposure to juvenile roach *Rutilus rutilus* under experimental conditions]. *Voprosy Ikhtiologii.* 2004;44(6):847-52. (In Russ.)
39. Timakova TK, Fliorova EA, Zobotkina EA. [Methods of Light and Electron Microscopy in Biology and Veterinary Medicine: Educational and Methodological Manual]. Yaroslavl: Izdatelstvo YaGSHA; 2014. (In Russ.)
40. Sovet Ekonomicheskoy Vzaimopomoschi (Council for Mutual Economic Assistance). [Unified Methods for Studying of Water Quality. Methods of Biological Analysis of Water]. Moscow; 1975. (In Russ.)
41. Brozio F, Litzbarski H. Untersuchungen über physiologische und histologische Veränderungen am Karpfen nach Toxapheneinwirkung. Teil I. *Z. Binnenfisch. DDR.* 1977;24(4):215-26.
42. Heath AG. *Water Pollution and Fish Physiology.* L.: Lewis Publ.; 2002.
43. Vazzana M, Gammarata M, Cooper EL, Parrinello N. Confinement stress in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) depresses peritoneal leukocyte cytotoxicity. *Aquaculture.* 2002;210(1-4):231-43.
44. Wang W, Li A. The effect of natural stress on the immune system of fish. *J Fish China.* 2002;(4): 368-74.

