

ЗООЛОГИЯ

УДК 591.111.1, 591.69-755.43

doi: 10.17223/19988591/47/7

А.К. Минеев, О.В. Минеева

*Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал
Самарского федерального исследовательского центра РАН, г. Тольятти, Россия*

Гематологические параметры и паразитофауна обыкновенного пескаря *Gobio gobio* (Linnaeus, 1758) в рыбоводном водоеме

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Институт экологии Волжского бассейна РАН, тема (проект) № АААА-А17-117112040039-7 «Экологические закономерности структурно-функциональной организации, ресурсного потенциала и устойчивого функционирования экосистем Волжского бассейна» (направление 51 «Экология организмов и сообществ»).

*Представлены результаты гематологического и паразитологического исследования обыкновенного пескаря *Gobio gobio* (Linnaeus, 1758) из рыбоводного пруда, в котором он является «сорным» видом. В условиях относительно чистого водоема лейкоцитарный состав крови рыб представлен 6 группами клеток: клетками-предшественниками, нейтрофилами, эозинофилами, базофилами, лимфоцитами и моноцитами. Процентное соотношение форменных элементов белой крови, за исключением эозинофилов, находилось в пределах физиологической нормы. Обнаружено 8 типов морфологических нарушений клеток красной крови, частота встречаемости большинства из которых не превышала величину их образования при спонтанном мутагенезе. Паразитофауна обыкновенного пескаря в исследованном водоеме крайне обеднена и включала 3 вида многоклеточных паразитов. Отмечена 100%-ная инвазия рыб патогенным рачком *Ergasilus sieboldi* Nordmann, 1832, высокая степень инвазии которым (до 57 экз./особь) может являться причиной зарегистрированных отклонений гематологических параметров (наличие в кровяном русле пойкилоцитов и выраженная эозинофилия).*

Ключевые слова: *Gobio gobio; Ergasilus sieboldi; лейкоцитарная формула; патологии эритроцитов; паразитофауна.*

Введение

Несмотря на незначительную хозяйственную ценность и малые размеры, обыкновенный пескарь (*Gobio gobio* (Linnaeus, 1758)) не перестает привлекать внимание исследователей. Ранее считалось, что это один чрезвычайно полиморфный, широко распространенный евроазиатский вид с разорванным ареалом, в рамках которого выделялось большое число номинальных подвидов [1, 2].

Последняя ревизия рыб рода *Gobio* Европы показала, что таксон *G. gobio* – это совокупность морфологически близких видов, о чем убедительно свидетельствуют кариологические данные. Секвенирование митохондриального и ядерного генома подтвердило отдельный статус рода *Gobio* как монофилетической группы и выявило 15 евразийских линий, разделенных на 2 основные клады – Североевропейскую и Понто-Каспийскую [3, 4].

Пескарь – типично донный вид, весьма восприимчивый к загрязнению водной среды [5–7]. Одним из центральных вопросов в экологическом мониторинге рыб является поиск наиболее чувствительных индикаторов активного антропогенного воздействия на водоемы. Традиционным методом, направленным на изучение адаптивных механизмов, поддерживающих гомеостаз, в том числе и в экстремальных условиях, является исследование гематологических параметров [8–13].

Исследование паразитов *G. gobio* в разных точках его ареала также является перспективным и актуальным направлением. Пескарь, наряду с другими «малоценными» видами, составляет основу рациона хищных промысловых рыб и рыбоядных птиц, исполняя роль промежуточного хозяина в цикле развития многих гельминтов. В рыбоводных водоемах, где зачастую является нежелательным компонентом ихтиофауны, он может быть источником заболеваний ценных видов рыб. Помимо этого, на территории Самарской области паразитологического исследования пескаря ранее не проводилось.

Цель данной работы – исследование гематологических параметров и паразитофауны обыкновенного пескаря в условиях рыбоводного водоема.

Материалы и методики исследования

Ихтиологический материал собран в пруду Гранный, который расположен в Ставропольском районе Самарской области вблизи с. Новая Бинарадка (53°81'24"N, 49°93'74"E). Водоем с площадью акватории 25 га создан в 1978 г. на месте одноименного оврага в противопожарных и сельскохозяйственных целях. Питание пруда – комбинированное, осуществляется за счет грунтовых вод, впадающего ручья и осадков. В настоящий период водоем используется в рыборазводных целях (выращивается карп). Облов пруда с использованием мальковой волокуши (длина 15 м, ячея в кутке 5 мм), невода (длина 20 м, ячея 5 см) и набора крючковых снастей показал, что в нем присутствуют также «сорные виды» – окунь, карась, плотва, уклейка, пескарь.

Постоянно проводимый мониторинг качества воды позволяет отнести пруд Гранный к чистым водоемам. По данным аккредитованной гидрохимической лаборатории ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511096 на техническую компетентность и независимость), содержание основных загрязняющих веществ в воде в летний период, за исключением железа, не превышает нормативов ПДК, разработанных для водных объектов рыбохозяйственного значения (табл. 1).

Таблица 1 [Table 1]

Некоторые гидрохимические показатели пруда Гранный
[Some hydrochemical parameters of Granny pond]

Показатель [Parameter]	Нормативы качества воды водных объектов рыбо- хозяйственного значения, приказ Минсельхоз России № 552 от 13.12.2016 г. [Standards of water quality in water objects of commercial fishing impor- tance, the order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federa- tion No. 552 dated 13.12.2016]	Концентрация в ис- следуемом водоеме [Concentration in the investigated reservoir]
pH, ед.	6,5–8,5	7,69
Растворенный кислород, мг/дм ³ [Dissolved oxygen, mg/dm ³]	6,0	7,75
Хлорид-ион, мг/дм ³ [Chloride ion, mg/dm ³]	300	17
Сульфат-ион, мг/дм ³ [Sulfate ion, mg/dm ³]	100	20
Ион аммония / азот аммонийный, мг/дм ³ [Ammonium ion / ammonium nitrogen, mg/dm ³]	0,5/0,4	0,08/0,06
Нитрит-ион / азот нитритный, мг/дм ³ [Nitrite ion / nitrite nitrogen, mg/dm ³]	0,08/0,02	<0,01
Нитрат-ион / азот нитратный, мг/дм ³ [Nitrate ion / nitrate nitrogen, mg/dm ³]	40/9	0,5/0,1
Железо общее, мг/дм ³ [Total iron, mg/dm ³]	0,1	0,25
Магний, мг/дм ³ [Magnesium, mg/dm ³]	40	15
Нефтепродукты, мг/дм ³ [Petroleum products, mg/dm ³]	0,05	0,022
Фосфат-ион (по фосфору), мг/дм ³ [Phosphate ion (by phos- phorus), mg/dm ³]	0,2	0,056
АПАВ, мг/дм ³ [Anionic surfactants, mg/dm ³]	0,5	< 0,01
Фенолы (летучие), мг/дм ³ [Phenols (volatile), mg/dm ³]	0,001	< 0,001

В июле 2018 г. отловлено 26 экз. обыкновенного пескаря с длиной тела (SL, стандартная длина) от 89,2 до 101,9 мм (среднее значение $96,0 \pm 0,6$ мм); возраст животных, установленный по отолитам, составлял 3–4 года. Для проведения гематологических исследований у рыб сразу после отлова брали периферическую кровь; всего изготовлен 21 препарат. Зафиксированные этанолом мазки окрашивали по методу Романовского–Гимза. Идентификацию клеток крови проводили по соответствующим определителям [14, 15]. На

каждом препарате вели дифференциальный подсчет лейкоцитов среди 1 000 эритроцитов в 5–10 полях зрения (в зависимости от плотности клеток на препарате) по методу зигзага [14]. Для оценки физиологического состояния рыб и их иммунного статуса анализировали соотношение форменных элементов крови, изучали лейкоцитарную формулу, определяли уровень эритропоэза, фиксировали возможные патологии эритроцитов. На основе анализа данных лейкограмм рассчитывали интегральный индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ), представляющий собой соотношение гранулоцитов и агранулоцитов [16, 17].

Методом полного паразитологического вскрытия исследовано 26 экз. обыкновенного пескаря; сбор, фиксацию и камеральную обработку макропаразитов проводили по общепринятой методике [18]. Видовая диагностика многоклеточных паразитов осуществлялась по соответствующему определителю [19]. Для количественной характеристики зараженности животных использовались следующие показатели: экстенсивность инвазии (процентная доля зараженных особей в общем числе исследованных рыб), интенсивность инвазии (минимальное и максимальное число паразитов на одной особи) и индекс обилия паразитов (средняя численность паразитов у всех исследованных рыб, включая незараженных).

Математическая обработка данных выполнена с использованием программы Microsoft Excel. Данные представлены в виде средних арифметических со стандартными ошибками среднего.

Результаты исследования и обсуждение

В силу выполнения разнообразных физиологических и иммунологических функций кровь рыб имеет достаточно сложную морфологическую картину. Состав белой крови обыкновенного пескаря в условиях относительно чистого водоема характеризовался большим разнообразием и включал две группы клеток – гранулоциты и агранулоциты (табл. 2).

Таблица 2 [Table 2]

Лейкограмма периферической крови обыкновенного пескаря
[Leukogram of the peripheral blood of the gudgeon]

Тип клеток [Type of cells]	Содержание клеток белой крови [Content of white blood cells], %		Коэффициент вариации [Coefficient of variation], %
	среднее значение [mean value]	min–max	
Гранулоциты [Granulocytes]			
Клетки-предшественники [Progenitor cells]	4,05±0,91	0–13,56	103,13
Эозинофилы [Eosinophils]	8,63±1,30	0–21,82	69,24
Базофилы [Basophils]	3,61±0,40	0,56–6,39	50,60
Нейтрофилы [Neutrophils]	7,55±1,07	0–17,07	64,64
Агранулоциты [Agranulocytes]			
Лимфоциты [Lymphocytes]	75,11±1,27	65,00–85,53	7,72
Моноциты [Monocytes]	1.05±0.19	0.54–3.67	84,76

Наиболее многочисленной группой в составе лейкоцитов пескаря являлись лимфоциты (белая кровь имеет ярко выраженный лимфоидный характер), что характерно в целом для рыб разных систематических групп [8, 13, 16, 20–22]. Лимфоциты крови и лимфоидных органов являются той иммунной системой, которая ограждает организм от чужеродных влияний и сохраняет его генетическое постоянство [14, 23]. Являясь предшественниками макрофагов, фибробластов, «мачтовых» клеток, лимфоциты рыб выполняют специфические иммунологические реакции [24, 25]. Содержание клеток этого типа в лейкограммах пескаря находилось в пределах нормы для карповых рыб [16], а значение коэффициента вариации (см. табл. 2) свидетельствует о значительной однородности исследуемой выборки по данному показателю.

Другие представители агранулоцитов – моноциты – являлись довольно редкими клетками белой крови обыкновенного пескаря (см. табл. 2). Зрелые клетки данного типа существуют 48 часов, по истечении которых покидают кровяное русло и превращаются в макрофаги. Присутствие в периферической крови рыб моноцитов, не перешедших еще в стадию макрофагов, свидетельствует о начале развития воспалительного процесса [13, 22].

Среди клеток зернистого ряда пескаря преобладали эозинофилы и нейтрофилы. Среднее содержание последних находилось в пределах физиологической нормы для карповых рыб [16]; их максимальное процентное количество в белой крови отдельных особей (17,07%) (см. табл. 2) свидетельствует о развитии у последних нейтрофилии. Нейтрофилы всегда многочисленны в зоне острого воспаления, полученного в результате инфекции [26–28]. Помимо этого, повышенное содержание нейтрофилов в периферической крови рыб является неспецифической реакцией на стрессоры разной природы (воздействие поллютантов, паразитарная инвазия, алиментарный токсикоз, травмы) [29–32].

Среднее процентное содержание эозинофилов в лейкограммах исследованных пескарей превышало нормальные значения [16], а встречаемость данных клеток у отдельных особей (до 21,82% от числа всех лейкоцитов) (см. табл. 2) свидетельствует о развитии эозинофилии. Клетки этого вида накапливаются в организме рыб при паразитарных инвазиях и воспалениях [8, 13, 14, 28], что, однако, не служит безусловным доказательством их антипаразитарной функции.

Базофилы в составе периферической крови пескаря встречались редко (см. табл. 2), в норме это самая малочисленная группа лейкоцитов, на полное отсутствие которых в крови разных видов рыб указывают некоторые авторы [14, 20, 21]. Повышенное содержание базофилов (до 6,39% от всех лейкоцитов) (см. табл. 2) свидетельствует о воспалительном процессе или развитии аллергической реакции у отдельных исследованных особей.

Характерной особенностью крови рыб является полиморфизм форменных элементов – одновременное присутствие в кровяном русле клеток различной степени зрелости. В лейкограммах пескаря пруда Гранный обнаружены молодые формы гранулоцитов – клетки-предшественники (см. табл. 2), содержание которых в белой крови пресноводных рыб может достигать 10% [14].

Лейкоцитарный состав крови рыб весьма изменчив. На соотношение отдельных групп клеток влияют различные биотические и абиотические факторы (возраст и пол животных, период нереста, сезонность, колебания температуры, алиментарный токсикоз, инфекционные и паразитарные заболевания, изменение физико-химических характеристик воды) [9, 20]. Соотношение гранулоцитов и агранулоцитов, на основании которого рассчитан индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ), информативно отражает нарушения в иммунологической реактивности отдельных особей и позволяет судить о наличии патологического процесса [17, 22].

В норме ИСЛ карповых рыб составляет 0,25–0,35 (в среднем 0,30) [16]. Отклонение ИСЛ в ту или иную сторону от нормальных значений является признаком заболевания или усиленного негативного пресса со стороны окружающей среды, а высокая частота встречаемости таких особей – признак неблагополучия популяции в целом [33].

В условиях рыбоводного водоема большая часть популяции обыкновенного пескаря представлена животными, здоровыми по данному показателю. У трети исследованных особей обнаружено повышение ИСЛ относительно нормы, что указывает на активацию гранулопоэза, преимущественно за счет роста числа эозинофилов (табл. 2, 3). У остальных рыб зарегистрирован агранулоцитоз разной степени выраженности (см. табл. 3).

Таблица 3 [Table 3]

Индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ) крови обыкновенного пескаря
[Index of leukocyte shift (ILS) in the blood of the gudgeon]

ИСЛ < 0,25 (агранулоцитоз) [ILS < 0,25 (agranulocytosis)]	ИСЛ = 0,25–0,35 (норма, здоровые особи) [ILS = 0,25–0,35 (normal, healthy individuals)]	ИСЛ > 0,35 (гранулоцитоз) [ILS > 0,35 (granulocytosis)]
23,81±9,52	42,86±11,07	33,33±10,54

Выявленные отклонения в соотношении различных форм лейкоцитов, которые можно рассматривать в качестве адаптационного механизма, повышающего защитную функцию крови в условиях воздействия комплекса неблагоприятных факторов разной природы [8, 9, 13, 33], являются достаточно распространенным и неспецифическим ответом организма рыб [34].

Морфологическая картина клеток красной крови пескаря пруда Гранный представлена зрелыми и незрелыми (нормобласты, базофильные и полихроматофильные эритроциты) формами эритропоэза. У всех исследованных рыб на одном мазке обнаружены и зрелые эритроциты, имеющие эллипсоидную форму, и незрелые клетки округлой формы.

Большинство исследованных особей пескаря пруда Гранный характеризовалось нормальным или слегка пониженным уровнем эритропоэза, лишь у небольшого числа рыб отмечалось более интенсивное образование красных кровяных клеток (табл. 4).

Таблица 4 [Table 4]

Интенсивность эритропоэза в сосудистой крови обыкновенного пескаря
[Intensity of erythropoiesis in the vascular blood of the gudgeon]

Содержание незрелых эритроцитов в периферической крови рыб [Content of young erythrocytes in the peripheral blood of fish]	Количество рыб [Number of fish], %
<5	42,86±11,07
5–10	42,86±11,07
>10	14,29±7,83

Регенерация форменных элементов крови (гемопоз) у рыб на протяжении всей жизни индивидуума обеспечивается кроветворными тканями (селезенкой, тимусом, почками, сердцем, полостями костей черепа, кишечником, жаберным аппаратом, сосудистой кровью) [14, 35]. Уровень эритропоэза (интенсивность образования красных клеток в кроветворных органах и тканях) определяется многими факторами: особенностями биологии рыб, гидрохимическим режимом водоема, периодом вегетационного сезона, неполноценностью и / или несбалансированностью пищи, способом выращивания, кровопотерями в результате травм и воздействия паразитов и др. [9, 36].

Анализ мазков крови продемонстрировал, что в условиях рыбоводного водоема у трети исследованных особей обыкновенного пескаря (33,33±10,54%) не обнаружено патологически измененных эритроцитов в кровяном русле. Клетки красной крови остальных животных характеризовались теми или иными нарушениями морфологии (табл. 5).

Таблица 5 [Table 5]

**Встречаемость aberrantных эритроцитов в периферической
крови обыкновенного пескаря**
[Occurrence of aberrant erythrocytes in the peripheral blood of the gudgeon]

Тип патологии [Type of pathology]	Встречаемость рыб с патологией [Occurrence of fish with pathology], %	Частота aberrantных эритроцитов среди проанализированных [Frequency of aberrant red blood cells among the analyzed], %	
		среднее значение [mean value]	min–max
Пойкилоцитоз [Poikilocytosis]	61,90±10,86	2,77±1,02	0–15,07
Фестончатый контур [Scalloped contour]	4,76±4,76	0,18±0,18	0–3,79
Ацентрическое расположение ядра [Acentric arrangement of the core]	33,33±10,54	1,29±0,49	0–7,16
Деформация ядра [Deformation of the nucleus]	9,52±6,56	0,08±0,07	0–1,46
Фрагментоз ядра [Fragments of the core]	4,76±4,76	0,03±0,03	0–0,55
Раздвоение ядра [Split core]	9,52±6,56	0,03±0,02	0–0,33
2 ядра [2 cores]	4,76±4,76	0,02±0,02	0–0,32
Вакуолизация цитоплазмы [Cytoplasmic vacuolization]	14,29±7,83	0,31±0,20	0–3,91

По характеру и степени проявления выявленные нарушения разделяются на несколько групп [37].

1. Аберрации, связанные с изменением формы клеток – пойкилоцитоз и фестончатые выросты (контур) цитоплазмы. Пойкилоцитоз (наличие в крови клеток, резко отличающихся по форме) является наиболее распространенной патологией эритроцитов обыкновенного пескаря пруда Гранный (см. табл. 5), внутри которой особо выделяется каплевидная и палочковидная деформации (встречаемость особей с таким типом аберраций составляет $38,10 \pm 10,86\%$ и $9,52 \pm 6,56\%$ соответственно). В целом около 2,77% проанализированных эритроцитов рыб характеризовались наличием данного нарушения, что выше величины их спонтанного образования, которая в норме составляет не более 1% [38, 39].

Незначительное количество исследованных эритроцитов пескаря имело фестончатые (волнистые) контуры оболочки (см. табл. 5) при сохранении нормальных размеров клетки.

Причинами появления указанных нарушений чаще всего являются патологии плазматической мембраны и осморезистентности клеток вследствие интоксикации организма различной этиологии [13, 20, 38].

2. Нарушения, связанные с изменениями ядра – ацентрическое расположение (смещение ядра к периферии), деформация (неправильная форма при сохранении нормальных размеров ядра) и фрагментоз (разделение ядра на несколько соединенных между собой сегментов). Последние 2 типа аберраций являются необратимыми дегенеративными изменениями, однако частота проявления данных патологий крайне низка (см. табл. 5).

3. Нарушения, связанные с делением клетки – раздвоение (амитоз) и удвоение ядра. Частота встречаемости клеток с подобными аномалиями среди общего числа проанализированных не превышает величину их появления при спонтанном мутагенезе (1%), лишь единичные особи пескаря являются носителями подобных нарушений (см. табл. 5).

4. Дегенеративные изменения клетки – вакуолизация цитоплазмы. Данный тип патологий эритроцитов характеризуется наличием в цитоплазме клеток единичных вакуолей разного размера, причиной чего являются нарушения внутриклеточного обмена [14].

Данные гематологического анализа обыкновенного пескаря свидетельствуют в целом об устойчивом морфофизиологическом состоянии и относительно благополучии популяции *G. gobio* в условиях рыбоводного водоема. Показатели периферической крови пескаря пруда Гранный, воды которого можно признать чистыми (см. табл. 1), значительно отличались от таковых у рыб из загрязненных водотоков с существенной антропогенной нагрузкой [6].

Обнаруженные нарушения морфологии и соотношения форменных элементов крови (патологически измененные эритроциты, отклонения от нормы в лейкограмме) не являются критическими и могут быть связаны как с

особенностями физиологического состояния рыб (только окончившийся период нереста вызвал определенное напряжение в функционировании системы крови), так и с паразитарной инвазией животных, что не раз отмечалось в литературе [8, 14, 28, 37].

Фауна макропаразитов обыкновенного пескаря в бассейне Волги достаточно богата в качественном отношении и представлена 44 видами разных таксономических групп: Monogenea – 10, Cestoda – 5, Trematoda – 15, Nematoda – 4, Acanthocephala – 5, Hirudinea – 2, Crustacea – 3 [40–45]. Значительное разнообразие паразитов со сложным жизненным циклом, которых пескарь приобретает алиментарным (трофическим) путем, определяется богатством пищевого рациона рыб в естественных водоемах. Обыкновенный пескарь – типичный бентофаг, молодь и взрослые особи *G. gobio* питаются личинками амфибиотических насекомых (хирономид, поденок, ручейников, мух-береговушек, мокрецов, симулид), а также ракообразными и моллюсками; отмечены случаи поедания икры других рыб [46–48].

В условиях рыбоводного водоема пескарь заражен тремя видами многоклеточных паразитов (табл. 6).

Таблица 6 [Table 6]

Фауна паразитов обыкновенного пескаря пруда Гранный
[The fauna of parasites in the gudgeon of Granny pond]

Паразит / локализация [Parasite / localization]	Экстенсивность инвазии [Prevalence], %	Интенсивность инвазии, экз. [Intensity of infection, ind.]	Индекс обилия, экз. [Mean abundance, ind.]
<i>Neogryporhynchus cheilancristrotus</i> (Wedl, 1855), pl. желчный пузырь [gallbladder]	3,85	1	0,04±0,04
<i>Contracaecum microcephalum</i> (Rudolphi, 1819), l. III печень [liver]	3,85	1	0,04±0,04
<i>Ergasilus sieboldi</i> Nordmann, 1832 плавники, жабры [fins, gills]	100,00	2–57	19,35±2,66

Плероцеркоид *N. cheilancristrotus* и личинка нематоды *C. microcephalum* заражают хозяина трофическим путем (через веслоногих рачков). Низкие показатели зараженности гельминтами (следует говорить о единичной инвазии) могут быть обусловлены несколькими причинами. Во-первых, в водоеме постоянно присутствуют искусственные корма (фуражная пшеница и зерноотходы), на питание которыми перешли в том числе и «сорные» виды рыб. Во-вторых, невысокая продуктивность пруда по показателям зоопланктона и исходно низкая зараженность кормовых беспозвоночных (это предположение требует дополнительного исследования). Оба вида червей заканчивают свое развитие в рыбоядных птицах. Отсутствие по берегам водоема

постоянных колоний птиц и, как следствие, инвазионного начала (яиц гельминтов) также может быть причиной низкой зараженности рыб личинками цестоды и нематоды.

Следует отметить, что *N. cheilancristrotus* и *C. microcephalum* впервые отмечены в составе паразитофауны обыкновенного пескаря бассейна Волги.

Особый интерес представляет 100%-ная инвазия рыб рачком *E. sieboldi* (см. табл. 6), интенсивность заражения которым отдельных особей достигает нескольких десятков экземпляров; паразиты локализуются не только на жабрах, но и на плавниках (в данном случае можно говорить о гиперинвазии). Этот вид характеризуется слабо выраженной специфичностью и паразитирует у большинства видов пресноводных рыб (карповых, окуневых, лососевых, сиговых и др.) [19, 49, 50].

Жизненный цикл эргазилюса связан с годовым ходом температуры воды. В холодный период года самки пребывают в состоянии покоя. С повышением температуры воды начинается процесс формирования яиц в яичнике; зрелые яйцевые мешки появляются при температуре воды не ниже 14°. В каждом яйцевом мешке по 100–110 науплиев. *E. sieboldi* – теплолюбивый вид, оптимальная температура его развития составляет 22–25°. Вспышки заболевания происходят главным образом летом, в июле–августе, но иногда и осенью. Поздно прикрепившиеся самки размножаются только весной следующего года. Срок развития от яйца до половозрелой особи длится 22 суток; при благоприятных условиях в течение трех недель самки дают два поколения личинок [49].

Питаясь жаберной тканью и кровью хозяина, рачки являются крайне патогенными паразитами. Прикрепляясь к жаберным лепесткам, паразит деформирует их, сдавливает и разрывает сосуды, вызывает слизеоотделение, разрушение и некроз жаберной ткани. Зачастую к инвазии эргазилюсом присоединяется поражение сапролегнией [50].

Особый вред *E. sieboldi* наносит прудовым хозяйствам. Даже если не происходит массовой гибели рыб, наблюдается снижение темпов роста, масса животных уменьшается примерно в 2 раза. Ухудшается качество мяса за счет снижения количества жира. Отдельные самки после болезни становятся яловыми и не участвуют в нересте [49, 50].

В числе основных факторов, обуславливающих высокую зараженность пескаря пруда Гранный патогенным рачком *E. sieboldi*, носящую характер эпизоотии, можно выделить следующие:

1. Слабая проточность водоема, что создает оптимальные условия для развития этого лимнофильного вида.

2. Прогревание пруда в летние месяцы, дающее возможность самкам паразита давать несколько генераций в год.

3. Наличие зоны сублиторали с обильной водной растительностью, где наблюдаются максимальная концентрация свободноживущих стадий *E. sieboldi* и скопление их облигатных хозяев – рыб. Пескарь приурочен к

береговым участкам зарослей макрофитов, где происходит интенсивная аккумуляция рачков на рыбах, сопровождающаяся их перманентной реинвазией.

4. Наличие в достаточном количестве подходящих облигатных хозяев.

Выявленные нарушения в системе крови рыб, такие как появление в кровяном русле пойкилоцитов и изменения в лейкоцитарной формуле (эозинофилия), могут быть связаны в том числе и с высокой степенью зараженности пескаря *E. sieboldi*. Известно, что частота появления патологически измененных эритроцитов в крови инвазированных рыб существенно выше, чем у особей без паразитов [37]. Анализ лейкоцитарного профиля показывает, что зачастую эозинофилия является единственным процессом, характеризующим лейкоцитоз при паразитарных инвазиях рыб [8, 14, 16].

Полученные результаты свидетельствуют о достаточно устойчивом морфофизиологическом состоянии популяции обыкновенного пескаря в условиях относительно чистого водоема. Обнаруженные отклонения в гематологических показателях рыб не являются критическими и могут быть рассмотрены в качестве адаптационного механизма, повышающего защитную функцию крови в условиях воздействия комплекса неблагоприятных факторов разной природы. Одним из таких факторов может выступать паразитарная инвазия рыб.

Заключение

Проведена оценка паразитологического и морфофизиологического состояния обыкновенного пескаря в условиях относительно чистого водоема. Состав белой крови рыб включал 6 групп клеток, процентное соотношение которых, за исключением эозинофилов, находилось в пределах физиологической нормы. Интенсивность образования красных кровяных клеток в сосудистой крови (уровень эритропоза) у большинства животных не превышал 10%. 66,67% исследованных рыб характеризовалось наличием патологически измененных эритроцитов в кровяном русле. Всего выявлено 8 различных типов аберраций. Наиболее распространенной патологией являлся пойкилоцитоз, зарегистрированный у 61,90% рыб; 2,77% проанализированных эритроцитов характеризовалось наличием данного нарушения. Частота встречаемости клеток с другими типами аберраций среди общего числа исследованных не превышала величину их появления при спонтанном мутагенезе (1%). У 100% отловленных особей пескаря диагностирована инвазия патогенным рачком *E. sieboldi*. Плериоцеркоид *N. cheilancristrotus* и личинка нематоды *C. microcephalum* впервые отмечены в составе паразитофауны обыкновенного пескаря бассейна Волги.

Авторы благодарят И.Ф. Абдуллова (ООО «Акватория», г. Самара, Россия) за помощь в сборе ихтиологического материала.

Литература

1. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М. ; Л. : Наука, 1949. Ч. 2. С. 469–925.
2. Богуцкая Н.Г., Насека А.М. Каталог бесчелюстных и рыб пресных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2004. 389 с.
3. Mendel J., Lusk S., Vasil'eva E.D., Vasil'ev V.P., Lusková V., Erk'akan F., Ruchin A., Košeo J., Vetešník L., Halačka K., Šanda R., Pashkov A.N., Reshetnikov S.I. Molecular phylogeny of the genus *Gobio* Cuvier, 1816 (Teleostei: Cyprinidae) and its contribution to taxonomy // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2008. № 47 (3). PP. 1061–1075.
4. Nowak M., Koščo J., Popek W. Review of the current status of systematics of gudgeons (Gobioninae, Cyprinidae) in Europe // AACL Bioflux. 2008. № 1. PP. 27–38.
5. Гилева Т.А., Костицына Н.В., Зиновьев Е.А., Бакланов М.А. К содержанию тяжелых металлов в органах и тканях ряда популяций пескаря *Gobio gobio* (L.) бассейна р. Камы // Вестник Пермского университета. 2010. Вып. 2. С. 31–36.
6. Шеина Т.А. Состав крови и содержание тяжелых металлов в органах и тканях у трех видов рыб в бассейне реки Камы: Дисс. ... канд. биол. наук. Пермь, 2014. 235 с.
7. Nastova R., Kostov V., Ushlinovska I. Heavy metals in organs of gudgeon (*Gobio gobio* L.) from Vardar River, R. Macedonia // Agricultural science and technology. 2017. Vol. 9, № 4. PP. 340–346.
8. Clauss T.M., Dove A., Arnold J.E. Hematologic disorders of fish // Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice. 2008. Vol. 11. PP. 445–462.
9. Серпунин Г.Г. Гематологические показатели адаптаций рыб. Калининград : Изд-во КГТУ, 2010. 460 с.
10. Morera D., MacKenzie S.A. Is there a direct role for erythrocytes in the immune response? // Veterinary Research. 2011. Vol. 42. P. 89.
11. Nagasawa T., Nakayasu C., Rieger A.M., Barreda D.R., Somamoto T., Nakao M. Phagocytosis by thrombocytes is a conserved innate immune mechanism in lower vertebrates // Frontiers in Immunology. 2014. Vol. 5. Article 445.
12. Fedonenko O., Yesipova N., Sharamok T. The accumulation of heavy metals and cytometric characteristics features of red blood cells in different ages of carp fish from Zaporozhian Reservoir // International Letters of Natural Sciences. 2016. Vol. 53. PP. 72–79.
13. da Silva E.B., da Silva Corrêa S.A., de Souza Abessa D.M., da Silva B.F., Rivero D.H., Seriani R. Mucociliary transport, differential white blood cells, and cyto-genotoxicity in peripheral erythrocytes in fish from a polluted urban pond // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25, № 3. PP. 2683–2690.
14. Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб (сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб). М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. 184 с.
15. Groff J.M., Zinkl J.G. Hematology and clinical chemistry of cyprinid fish: common carp and goldfish // Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice. 1999. Vol. 2. PP. 741–776.
16. Житенева Л.Д., Рудницкая О.А., Калюжная Т.И. Эколого-гематологические характеристики некоторых видов рыб. Ростов н/Д : Молот, 1997. 152 с.
17. Ткаченко Е.А., Дерхо М.А. Лейкоцитарные индексы при экспериментальной кадмиевой интоксикации мышей // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3 (47). С. 81–83.
18. Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб : руководство по изучению. Л. : Наука, 1985. 121 с.
19. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Л. : Наука, 1987. Т. 3. 583 с.
20. Бугаев Л.А., Зинчук О.А., Смыр Т.М., Рудницкая О.А., Войкина А.В. Гематологические показатели бычка кругляка (*Neogobius melanostomus*, Pallas, 1814), обитающего в

- Азовском море // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2012. № 1. С. 73–76.
21. Гилева Т.А., Костицына Н.В. Характеристика периферической крови и содержания тяжелых металлов в органах и тканях окуня водоемов бассейна р. Камы // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2. С. 46–51.
 22. Шахова Е.В. Морфофизиологическая характеристика молоди европейского сига (*Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758)), выпущенной в Куршский залив Балтийского моря в 2015 году // Вестник рыбохозяйственной науки. 2016. Т. 3, № 4 (12). С. 28–34.
 23. Scapigliati G., Fausto A.M., Picchiatti S. Fish lymphocytes: an evolutionary equivalent of mammalian innate-like lymphocytes? // Frontiers in Immunology. 2018. Vol. 9. Article 971.
 24. Joerink M., Ribeiro C.M., Stet R.J., Hermesen T., Savelkoul H.F., Wiegertjes G.F. Head kidney-derived macrophages of common carp (*Cyprinus carpio* L.) show plasticity and functional polarization upon differential stimulation // Journal of Immunology. 2006. Vol. 177 (1). PP. 61–69.
 25. Dobson J.T., Seibert J., Teh E.M., Daas S., Fraser R.B., Paw B.H., Lin T.J., Berman J.N. Carboxypeptidase A5 identifies a novel mast cell lineage in the zebrafish providing new insight into mast cell fate determination // Blood. 2008. Vol. 112 (7). PP. 2969–2972.
 26. Finn J.P. The protective mechanisms in diseases of fish // The Veterinary Bulletin. 1970. Vol. 40. PP. 873–886.
 27. Bruno D.W., Munro A.L.S. Haematological assessment of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, and Atlantic salmon, *Salmo salar* L., infected with *Renibacterium salmoninarum* // Journal of fish Diseases. 1986. Vol. 9. PP. 195–204.
 28. Roubal F.R. Blood and other possible inflammatory cells in the sparid *Acanthopagrus australis* (Gunter) // Journal of Fish Biology. 1986. Vol. 28. PP. 573–593.
 29. Hlavek R.R., Bulkley R.V. Effects of malachite green on leucocyte abundance in rainbow trout, *Salmo gairdneri* (Richardson) // Journal of Fish Biology. 1980. Vol. 17. PP. 431–444.
 30. Ellis A.E. Non-specific defense mechanisms in fish and their role in disease processes // Developments in Biological Standardization. 1981. Vol. 49. PP. 337–352.
 31. Dunn S.E., Murad A., Houston A.H. Leucocytes and leucopoietic capacity in thermally acclimated goldfish, *Carassius auratus* L. // Journal of Fish Biology. 1989. Vol. 34. PP. 901–911.
 32. Peters G., Nubgen A., Raabe A., Mock A. Social stress induces structural and functional alterations of phagocytes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Fish & Shellfish Immunology. 1991. Vol. 1. PP. 17–31.
 33. Федоненко Е.В., Шарамок Т.С., Ананьева Т.В. Особенности лейкоцитарной формулы некоторых карповых рыб Запорожского водохранилища (Украина) // Труды ВНИРО. 2017. Т. 167. С. 59–65.
 34. Минеев А.К. Неспецифические реакции у рыб из водоемов Средней и Нижней Волги // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 3–7. С. 2301–2318.
 35. Грушко М.П. Особенности гемопоэза у воibly // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. 2009. № 1. С. 126–131.
 36. Pronina G.I., Koryagina N.Y., Petrushin A.B., Revyakin A.O. Comparative physiological and immunological characteristics of Carps (Cyprinidae) grown in aquaculture with different types of food // Journal of Ichthyology. 2017. Vol. 57, № 3. PP. 490–493.
 37. Конькова А.В., Федорова Н.Н., Иванов В.П. Оценка эпизоотического и морфологического состояния молоди леща *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) в Волго-Каспийском регионе // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2015. № 3 (27). С. 38–43.
 38. Шляхтин Г.В., Перевозникова Т.В., Дмитриев С.Г. Биологический мониторинг вокруг крупных техногенных объектов г. Саратова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Химия. Биология. Экология. 2014. Т. 14, вып. 4. С. 96–104.

39. Кузина Т.В., Галактионова М.Л. Анализ взаимосвязи цитогенетического гомеостаза и оксидативного стресса в организме бычковых рыб Северного Каспия // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13, № 2. С. 64–72.
40. Молодожникова Н.М., Жохов А.Е. Таксономическое разнообразие паразитов бесчелюстных и рыб бассейна Волги. II. Паразитические кишечнополостные (Coelenterata) и моногенеи (Monogenea) // Паразитология. 2006. Т. 40, вып. 4. С. 328–354.
41. Жохов А.Е., Молодожникова Н.М. Таксономическое разнообразие паразитов рыбообразных и рыб бассейна Волги. IV. Амфилины (Amphilinida) и цестоды (Cestoda) // Паразитология. 2007. Т. 41, вып. 2. С. 89–102.
42. Молодожникова Н.М., Жохов А.Е. Таксономическое разнообразие паразитов рыбообразных и рыб бассейна Волги. III. Аспидогастры (Aspidogastrea) и трематоды (Trematoda) // Паразитология. 2007. Т. 41, вып. 1. С. 28–54.
43. Жохов А.Е., Молодожникова Н.М. Таксономическое разнообразие паразитов бесчелюстных и рыб бассейна Волги. V. Нематоды (Nematoda) и волосатики (Gordiaceae) // Паразитология. 2008. Т. 42, вып. 2. С. 114–128.
44. Жохов А.Е., Молодожникова Н.М. Таксономическое разнообразие паразитов рыб бассейна Волги. VII. Ракообразные (Crustacea) и водные клещи (Hydracarina) // Паразитология. 2008. Т. 42, вып. 6. С. 476–485.
45. Молодожникова Н.М., Жохов А.Е. Таксономическое разнообразие паразитов бесчелюстных и рыб бассейна Волги. VI. Скребни (Acanthocephala), пиявки (Hirudinea), моллюски (Bivalvia) // Паразитология. 2008. Т. 42, вып. 3. С. 179–190.
46. Артаев О.Н., Ручин А.Б. Экологические ниши синтопичных видов пескарей *Gobio gobio* (Linnaeus, 1758) и *Romanogobio alpinus* (Lukasch, 1933). Сообщение 1. Трофическая ниша // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 2 (24). С. 92–97.
47. Стрельникова А.П., Столбунов И.А., Жгарева Н.Н., Шляпкин И.В. Размерно-массовая характеристика и питание молоди обыкновенного пескаря *Gobio gobio* (Linnaeus, 1758) в некоторых реках бассейна Верхней и Средней Волги // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. 2016. № 3. С. 7–15.
48. Стрельникова А.П., Жгарева Н.Н., Шляпкин И.В. Расхождение трофических ниш у сеголетков двух совместно обитающих видов рыб – обыкновенного голяна *Phoxinus phoxinus* (L.) и обыкновенного пескаря *Gobio gobio* (L.) // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. 2018. № 2. С. 15–24.
49. Воронин В.Н., Кузнецова Е.В., Стрелков Ю.А., Чернышева Н.Б. Болезни рыб в аквакультуре России: практическое руководство. СПб. : ГосНИОРХ, 2011. 265 с.
50. Рахконен Р., Веннерстрем П., Ринтамяки П., Каннел Р. Здоровая рыба. Профилактика, диагностика и лечение болезней. Издание второе, переработанное и дополненное. Хельсинки : НИИ охотничьего и рыбного хозяйства Финляндии, 2013. 180 с.

Поступила в редакцию 02.07.2019 г.; повторно 09.09.2019 г.;
принята 11.09.2019 г.; опубликована 27.09.2019 г.

Авторский коллектив:

Минеев Александр Константинович – д-р биол. наук, с.н.с. Института экологии Волжского бассейна РАН – филиала Самарского федерального исследовательского центра РАН (Россия, 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-3464-0554>

E-mail: mineev7676@mail.ru

Минеева Оксана Викторовна – канд. биол. наук, м.н.с. Института экологии Волжского бассейна РАН – филиала Самарского федерального исследовательского центра РАН (Россия, 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-5050-8545>

E-mail: ksukala@mail.ru

For citation: Mineev AK, Mineeva OV. Hematological parameters and parasite fauna of the gudgeon *Gobio gobio* (Linnaeus, 1758) in a fish-breeding pond. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2019;47:123-141. doi: 10.17223/19988591/47/7 In Russian, English Summary

Alexandr K. Mineev, Oksana V. Mineeva

Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences – Branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tolyatti, Russian Federation

Hematological parameters and parasite fauna of the gudgeon *Gobio gobio* (Linnaeus, 1758) in a fish-breeding pond

The gudgeon (*Gobio gobio* (Linnaeus, 1758)) is a very interesting object for genetic, ichthyopathological and parasitological studies. This typical bottom species is sensitive to water pollution. Analysis of hematological parameters of the gudgeon can be used as an objective indicator of the ecological state and the degree of anthropogenic impact on the ecosystem of the reservoir. *G. gobio* is characterized by a wide range of nutrition and is itself included in the diet of predatory fish and fish-eating birds, thus playing a significant role in circulation of various parasites. In fish-breeding ponds, the gudgeon is often the object of unwanted fish because it can be a source of diseases of valuable fish species.

The aim of this research was to study hematological parameters and parasite fauna of the gudgeon in a fish-breeding pond, in which it is a “weed” species. The ichthyological material was caught in July 2018 in Granny pond (53°81'24"N, 49°93'74"E). Table 1 shows hydrochemical parameters of the pond, allowing it to be attributed to relatively clean water bodies. The research complies with the ethical principles of the European Convention for the protection of vertebrate animals used for experimental or other scientific purposes (Strasbourg, 18 March 1986). The fish were kept in separate rooms in aerated aquariums with optimal planting density, which minimized stress and anxiety levels. Animals received sufficient food. The study used a minimum number of fish, which were killed in a humane way. We conducted hematological studies of 21 individuals of *G. gobio*. Blood smears were fixed with ethanol and stained according to Romanovsky-Giemsa. We identified blood cells by Groff, Zinkl (1999). With each drug, differential count of white blood cells among 1000 erythrocytes in 5-10 fields of view was conducted. In order to assess the physiological state of fish and their immune status, we analyzed the ratio of blood elements, studied the leukocyte formula, determined the level of erythropoiesis, and recorded possible pathologies of erythrocytes. Research of macroparasites in 26 individuals of the gudgeon was carried out according to Bykhovskaya-Pavlovskaya (1985). For quantitative characteristics of infection of the animals, we used the following indicators: prevalence, intensity of infection and mean abundance.

The leukocyte composition of the blood of the gudgeon was characterized by a wide variety (See Tables 2 and 3). The most numerous group of cells were lymphocytes. The average percentage of individual groups of leukocytes was within the physiological norm. The exception was eosinophils, the occurrence of which in the leukogram (up to 21.82% in ind.) indicated the development of eosinophilia. The proportion of immature red blood cells in most of the studied smears did not exceed 10% (See Table 4). 66.67% of gudgeon individuals had pathologically altered red blood cells in the bloodstream; 8 different types of disorders were observed (See Table 5). The most common pathology was poikilocytosis, registered in 61.90% of fish; 2.77% of the analyzed erythrocytes were characterized by the presence of this aberration. The frequency of occurrence of cells

with other types of disorders among the total number of the studied ones did not exceed the value of their appearance in spontaneous mutagenesis (1%). The parasite fauna of fish in terms of fish ponds significantly depleted (See Table 6). 2 species of parasites (the cestode *Neogryporhynchus cheilancristrotus*, pl. (Wedl, 1855) and the nematode *Contracaecum microcephalum*, larva III (Rudolphi, 1819)) infect the host by alimentary means. These species were first observed in the parasite fauna of the gudgeon of the Volga river basin. All studied individuals of the gudgeon were infected with parasitic crustaceans *Ergasilus sieboldi* Nordmann, 1832, which is an extremely pathogenic parasite. A high degree of fish invasion by crustaceans (up to 57 specimens per individual) can be a factor causing deviations in hematological parameters of the gudgeon.

The paper contains 6 Tables and 50 References.

Key words: *Gobio gobio*; *Ergasilus sieboldi*; leukocytic formula; pathology of erythrocytes; parasite fauna.

Funding: This research was financed by the state contract of the Institute of Ecology of the Volga river basin, Russian Academy of Sciences (Project No AAAA-A17-117112040039-7 “Ecological regularities of structural and functional organization, resource potential and sustainable functioning of the Volga basin ecosystems” (direction 51 “Ecology of organisms and communities”).

Acknowledgments: The authors thank IF Abdullor (“Akvatoria” LLC, Samara, Russian Federation) for assistance in collecting ichthyological material.

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Berg LS. Ryby presnykh vod SSSR i sopredel'nykh stran [Freshwater fishes of the U.S.S.R. and adjacent countries]. Pt. 2. Moscow–Leningrad: Nauka Publ.; 1949. pp. 469-925. In Russian
2. Bogutskaya NG, Naseka AM. Katalog beschelyustnykh i ryb presnykh i solonovatykh vod Rossii s nomenklaturnymi i taksonomicheskimi kommentariyami [Catalogue of agnathans and fishes of fresh and brackish waters of Russia with comments on nomenclature and taxonomy]. Moscow: KMK Scientific Press Ltd Publ.; 2004. 389 p. In Russian
3. Mendel J, Lusk S, Vasil'eva ED, Vasil'ev VP, Lusková V, Erk'akan F, Ruchin A, Košeo J, Vetešník L, Halačka K, Šanda R, Pashkov AN, Reshetnikov SI. Molecular phylogeny of the genus *Gobio* Cuvier, 1816 (Teleostei: Cyprinidae) and its contribution to taxonomy. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2008;47(3):1061-1075. doi: [10.1016/j.ympev.2008.03.005](https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.03.005)
4. Nowak M, Koščo J, Popek W. Review of the current status of systematics of gudgeons (Gobioninae, Cyprinidae) in Europe. *AACL Bioflux*. 2008;1:27-38.
5. Gileva TA, Kostitsyna NV, Zinovjev EA, Baklanov MA. The content of heavy metals in organs and tissues of some populations minnow *Gobio gobio* (L.) Kama river basin. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologiya = Bulletin of Perm University. Biology*. 2010;2:31-36. In Russian
6. Sheina TA. *Sostav krovi i soderzhanie tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh u trekh vidov ryb v bassejne reki Kamy* [Blood composition and heavy metal content in organs and tissues of three fish species from the Kama river basin. CandSci. Dissertation, Biology]. Perm: Perm State University; 2014. 235 p. In Russian
7. Nastova R, Kostov V, Ushlinovska I. Heavy metals in organs of gudgeon (*Gobio gobio* L.) from Vardar River, R. Macedonia. *Agricultural Science and Technology*. 2017;9(4):340-346. doi: [10.15547/ast.2017.04.064](https://doi.org/10.15547/ast.2017.04.064)
8. Clauss TM, Dove A, Arnold JE. Hematologic disorders of fish. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*. 2008;11:445-462. doi: [10.1016/j.cvex.2008.03.007](https://doi.org/10.1016/j.cvex.2008.03.007)
9. Serpunin GG. Gematologicheskie pokazateli adaptatsiy ryb [Hematological parameters of fish adaptation]. Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University Publ.; 2010. 460 p. In Russian

10. Morera D, MacKenzie SA. Is there a direct role for erythrocytes in the immune response? *Veterinary Research*. 2011;42:89. doi: [10.1186/1297-9716-42-89](https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-89)
11. Nagasawa T, Nakayasu C, Rieger AM, Barreda DR, Somamoto T, Nakao M. Phagocytosis by thrombocytes is a conserved innate immune mechanism in lower vertebrates. *Frontiers in Immunology*. 2014;5:445. doi: [10.3389/fimmu.2014.00445](https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00445)
12. Fedonenko O, Yesipova N, Sharamok T. The accumulation of heavy metals and cytometric characteristics features of red blood cells in different ages of carp fish from Zaporozhian Reservoir. *International Letters of Natural Sciences*. 2016;53:72-79. doi: [10.18052/www.scipress.com/ILNS.53.72](https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.53.72)
13. da Silva EB, da Silva Corrêa SA, de Souza Abessa DM, da Silva BF, Rivero DH, Seriani R. Mucociliary transport, differential white blood cells, and cyto-genotoxicity in peripheral erythrocytes in fish from a polluted urban pond. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(3):2683-2690. doi: [10.1007/s11356-017-0729-0](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0729-0)
14. Ivanova NT. Atlas kletok krovi ryb (sravnitel'naya morfologiya i klassifikatsiya formennykh elementov krovi ryb) [Atlas of fish blood cells (Comparative morphology and classification of fish blood elements)]. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ.; 1983. 184 p. In Russian
15. Groff JM, Zinkl JG. Hematology and clinical chemistry of cyprinid fish: common carp and goldfish. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*. 1999;2:741-776.
16. Zhiteneva LD, Rudnitskaya OA, Kalyuzhnaya TI. Ekologo-gematologicheskie kharakteristiki nekotorykh vidov ryb [Ecological and hematological characteristics of some fish species]. Rostov-on-Don: Molot Publ.; 1997. 152 p. In Russian
17. Tkachenko YeA, Derkho MA. Leukocytic indices in experimental cadmium intoxication of mice. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014;3(47):81-83. In Russian
18. Bykhovskaya-Pavlovskaya IE. Parazity ryb. Rukovodstvo po izucheniyu [Parasites of fishes. Study Guide]. Leningrad: Nauka Publ.; 1985. 121 p. In Russian
19. *Opredelitel' parazitov presnovodnykh ryb fauny SSSR. Paraziticheskie mnogokletochnye* [Keys to parasites of freshwater fish of the USSR. Vol. 3. Pt. 2. Parasitic multicellular]. Bauer ON, general editor; Gusev AV, volume editor. Leningrad: Nauka Publ.; 1987. 583 p. In Russian
20. Bugaev LA, Zinchuk OA, Smyr TM, Rudnitskaya OA, Voykina AV. Gematologicheskie pokazateli bychka kruglyaka (*Neogobius melanostomus*, Pallas, 1814), obitayushchego v Azovskom more [Hematological parameters of bull logs (*Neogobius melanostomus*, Pallas, 1814) inhabiting in the Azov Sea]. *Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki = University News North-Caucasian Region Natural Sciences Series*. 2012;1:73-76. In Russian
21. Gileva TA, Kostitsyna NV. Kharakteristika perifericheskoy krovi i sodержaniya tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh okunya vodoemov basseyna r. Kamy [The characteristics of peripheral blood and the content of heavy metals in tissues and organs of a perch *Perca fluviatilis* (L.) inhabiting water bodies of the Kama basin]. *Theoretical and Applied Ecology*. 2014;2:46-51. In Russian
22. Shakhova EV. Morpho-physiological characteristics of European whitefish (*Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758)) fry released into the Couronian lagoon of the Baltic Sea in 2015. *Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki = The Bulletin of Fisheries Science*. 2016;3(4(12)):28-34. In Russian
23. Scapigliati G, Fausto AM, Picchiatti S. Fish lymphocytes: an evolutionary equivalent of mammalian innate-like lymphocytes? *Frontiers in Immunology*. 2018;9:971. doi: [10.3389/fimmu.2018.00971](https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00971)
24. Joerink M, Ribeiro CM, Stet RJ, Hermesen T, Savelkoul HF, Wiegertjes GF. Head kidney-derived macrophages of common carp (*Cyprinus carpio* L.) show plasticity and functional polarization upon differential stimulation. *J Immunology*. 2006;177(1):61-69. doi: [10.4049/jimmunol.177.1.61](https://doi.org/10.4049/jimmunol.177.1.61)

25. Dobson JT, Seibert J, Teh EM, Daas S, Fraser RB, Paw BH, Lin TJ, Berman JN. Carboxypeptidase A5 identifies a novel mast cell lineage in the zebrafish providing new insight into mast cell fate determination. *Blood*. 2008;112(7):2969-2972. doi: [10.1182/blood-2008-03-145011](https://doi.org/10.1182/blood-2008-03-145011)
26. Finn JP. The protective mechanisms in diseases of fish. *The Veterinary Bulletin*. 1970;40:873-886.
27. Bruno DW, Munro ALS. Haematological assessment of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, and Atlantic salmon, *Salmo salar* L., infected with *Renibacterium salmoninarum*. *J Fish Diseases*. 1986;9:195-204.
28. Roubal FR. Blood and other possible inflammatory cells in the sparid *Acanthopagrus australis* (Gunter). *J Fish Biology*. 1986;28:573-593. doi: [10.1111/j.1095-8649.1986.tb05194.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1986.tb05194.x)
29. Hlavek RR, Bulkley RV. Effects of malachite green on leucocyte abundance in rainbow trout, *Salmo gairdneri* (Richardson). *J Fish Biology*. 1980;17:431-444. doi: [10.1111/j.1095-8649.1980.tb02776.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02776.x)
30. Ellis AE. Non-specific defense mechanisms in fish and their role in disease processes. *Developments in Biological Standardization*. 1981;49:337-352.
31. Dunn SE, Murad A, Houston AH. Leucocytes and leucopoietic capacity in thermally acclimated goldfish, *Carassius auratus* L. *J Fish Biology*. 1989;34:901-911. doi: [10.1111/j.1095-8649.1989.tb0337.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1989.tb0337.x)
32. Peters G, Nubgen A, Raabe A, Mock A. Social stress induces structural and functional alterations of phagocytes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*. 1991;1:17-31. doi: [10.1016/S1050-4648\(06\)80017-3](https://doi.org/10.1016/S1050-4648(06)80017-3)
33. Fedonenko EV, Sharamok TS, Ananieva TV. Features of the leukocyte formula in some carp fish from the Zaporozhian Reservoir (Ukraine). *Trudy VNIRO*. 2017;167:59-65. In Russian
34. Mineev AK. Nonspecific reactions in fish from waters Middle and Lower Volga. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3(7)):2301-2318. In Russian
35. Grushko MP. Features of Vobla hemopoiesis. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: rybnoe khozyaystvo = Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2009;1:126-131. In Russian
36. Pronina GI, Koryagina NY, Petrushin AB, Revyakin AO. Comparative physiological and immunological characteristics of Carps (Cyprinidae) grown in aquaculture with different types of food. *J Ichthyology*. 2017;57(3):490-493. doi: [10.1134/S0032945217020163](https://doi.org/10.1134/S0032945217020163)
37. Konkova AV, Federova NN, Ivanov VP. The estimation of epizootic and morphophysiological condition of Bream juveniles *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) in the Volga-Caspian region. *Aktual'nye voprosy veterinarnoy biologii = Actual Questions of Veterinary Biology*. 2015;3(27):38-43. In Russian
38. Shlyakhtin GV, Perevoznikova TV, Dmitriev SG. The biological monitoring around large technogenic objects of the Saratov. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. biologiya. ekologiya = Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology*. 2014;14(4):96-104. In Russian
39. Kuzina TV, Galaktionova ML. Analysis of the interrelation of cytogenetic homeostasis and oxidative stress in the organism of goby fish (Gobiidae) of the Northern Caspian. *South of Russia: Ecology, development*. 2018;13(2):64-72. doi: [10.18470/1992-1098-2018-2-64-72](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-2-64-72) In Russian
40. Molodozhnikova NM, Zhokhov AE. Taxonomic diversity of parasites from agnathans and fishes in the Volga basin. II. Parasitic Coelenterata and Monogenea. *Parazitologiya*. 2006;40(4):328-354. In Russian
41. Zhokhov AE, Molodozhnikova NM. Parasites taxonomic diversity of agnathans and fishes of Volga river basin. IV. Amphilinida and Cestoda. *Parazitologiya*. 2007;41(2):89-102. In Russian
42. Molodozhnikova NM, Zhokhov AE. The taxonomic diversity of the parasites of agnathans and fishes in the Volga basin. III. Aspidogastrea and Trematoda. *Parazitologiya*. 2007;41(1):28-54. In Russian

43. Zhokhov AE, Molodozhnikova NM. Taxonomic diversity of parasites in agnathans and fishes from the Volga river basin. V. Nematoda and Gordiacea. *Parazitologiya*. 2008;42(2):114-128. In Russian
44. Zhokhov AE, Molodozhnikova NM. Taxonomic diversity of parasites in agnathans and fishes from the Volga river basin. VII. Crustacea and Hydracarina. *Parazitologiya*. 2008;42(6):476-485. In Russian
45. Molodozhnikova NM, Zhokhov AE. Taxonomic diversity of parasites in agnathans and fishes from the Volga river basin. VI. Acanthocephala, Hirudinea and Bivalvia. *Parazitologiya*. 2008;42(3):179-190. In Russian
46. Artaev ON, Ruchin AB. The ecological niches of synthopic minnows *Gobio gobio* (Linnaeus, 1758) and *Romanogobio albipinnatus* (Lukasch, 1933). Report 1. Trophic niche. *Astrakhan Bulletin for Environmental Education*. 2013;2(24):92-97. In Russian
47. Strelnikova AP, Stolbunov IA, Zhgareva NN, Shlyapkin IV. Size-weight characteristics and feeding of gudgeon *Gobio gobio* (L.) fry in some rivers of Upper and Middle Volga basin. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: rybnoe khozyaystvo = Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2016;3:7-15. In Russian
48. Strelnikova AP, Zhgareva NN, Shlyapkin IV. Splitting of trophic niches in underyearlings of minnow *Phoxinus phoxinus* (L.) and gudgeon *Gobio gobio* (L.) sharing the same habitat. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: rybnoe khozyaystvo = Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2018;2:15-24. In Russian
49. Voronin VN, Kuznetsova EV, Strelkov YuA, Chernysheva NB. Bolezni ryb v akvakul'ture Rossii: prakticheskoe rukovodstvo [Fish diseases in Russian aquaculture: A practical guide]. St. Petersburg: GosNIORKh; 2011. 265 p. In Russian
50. Rakhkonen R, Vennerstrem P, Rintamyaki P, Kannel R. Zdorovaya ryba. Profilaktika, diagnostika i lechenie bolezney [Healthy fish. Disease prevention, diagnostics and disease treatment]. 2nd ed. Helsinki: NII okhotnich'ego i rybnogo khozyaystva Finlyandii Publ.; 2013. 180 p. In Russian

*Received 2 July, 2019; Revised 9 September 2019;
Accepted 11 September 2019; Published 27 September 2019*

Author Info:

Mineev Alexandr K, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences – Branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 10 Komzina Str., Tolyatti 445003, Russian Federation.

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-3464-0554>

E-mail: mineev7676@mail.ru

Mineeva Oksana V, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher, Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences – Branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 10 Komzina Str., Tolyatti 445003, Russian Federation.

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-5050-8545>

E-mail: ksukala@mail.ru