

В. К. Голованов, Е. А. Заботкина, Н. С. Некрутов, Е. Л. Грачёва

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У МОЛОДИ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ *CARASSIUS AURATUS* И ГОЛОВЕШКИ-РОТАНА *PERCCOTTUS GLENI*¹

Экспериментально определены значения критического термического максимума при скорости нагрева воды от 4 до 40 °С/ч у двух видов рыб – трехлеток серебряного карася *Carassius auratus* и двухлеток головешки-ротана *Perccottus glenii*. Одновременно исследованы гематологические показатели (красная и белая кровь) рыб, подвергшихся нагреву. Максимальные значения критического термического максимума отмечены при самой низкой скорости нагрева. При остальных значениях скорости нагрева отмечена или их относительная стабильность (серебряный карась) или понижение термоустойчивости (головешка-ротан). Трехлетки серебряного карася более термоустойчивы в сравнении с двухлетками головешки-ротана. Наиболее чувствительны к нагреву показатели белой крови (соотношение лимфоцитов и незрелых форм гранулоцитов) и красной крови (незрелые формы эритроцитов, амитозы, разрушенные клетки). Отмечено сходство реакций на температурное воздействие у серебряного карася и головешки-ротана. Выявлено, что изменения в белой крови соответствуют неспецифической реакции на стрессовое воздействие, а изменения в красной крови являются компенсаторными реакциями на возникшую гипоксию. В красной крови, после воздействия температуры более 10 °С/ч, увеличивается количество амитозов (в 3–5 раз) и количество повреждённых эритроцитов (в 1,5–2 раза). В белой крови снижается количество лимфоцитов (в 1,5–2 раза) и увеличивается количество миелоцитов (на 30–45 %). Полученные сведения могут быть использованы при оценке уровней тепловой нагрузки на естественные водоемы и оценке потенциальных термоадаптационных возможностей рыб.

Ключевые слова: рыбы, верхняя летальная температура, критический термический максимум, гематология, белая кровь, красная кровь, головешка-ротан, серебряный карась.

Введение

Рыбы – пойкилотермные животные, температура их тела зависит от температуры окружающей среды. Известно, что температура влияет на скорость всех биологических процессов (рост, питание, обмен веществ) у рыб, их распределение и поведение. Значительные отклонения температуры за пределы оптимальных величин являются стресс-факторами, снижающими активность рыб и адаптационные способности организма. Кроме того, высокие значения температуры среды негативно влияют на гидрохимический режим в водоеме, способствуя снижению в воде уровня кислорода, а также провоцируя развитие сапрофитной микрофлоры и возбудителей различных болезней [1, 2]. У питающихся рыб адаптация к весеннему потеплению идет по пути снижения концентрации гемоглобина, увеличения скорости оседания эритроцитов, изменения соотношения эритроцитов и лейкоцитов, активизации эритро- и гранулопоэза [3].

Температура влияет на скорость и интенсивность фагоцитоза лейкоцитами периферической крови: низкая температура угнетает способность клеток к поглощению бактерий и снижает скорость выведения продуктов распада антигена из организма рыб [4, 5]. При понижении температуры снижается интенсивность антителогенеза, а также уменьшается эффект проявления иммунологической памяти [5]. Следует отметить, что значения оптимальной температуры максимального антителогенеза отличаются у холодо- и теплолюбивых рыб. У налима и форели (холодолобивые рыбы) оптимальный антителогенез происходит при температуре 6–9 °С, тогда как у карпа, карася и угря (теплолюбивые виды) при данной температуре антителогенез практически не выражен [4]. Известно, что при термоадаптации гималайского барбуса (золотого махсира) *Tor putitora* до верхних критических температур у рыб происходит достоверное снижение концентрации и активности каталитических ферментов, кроме того, уменьшается содержание общего белка крови [6]. В то же время уровень глюкозы крови и гемоглобина линейно возрастает. Содержание белых клеток крови повышается до термического оптимума, а затем резко снижается [6].

¹ Исследование выполнено при поддержке Программы Президиума РАН: I.21П Биоразнообразии природных систем. Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга. 2.5. Влияние антропогенного регулирования уровня режима водохранилищ и температуры на динамику численности рыб различной экологии и Программ Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-719.2012.4 и НШ-2666.2014.4 «Экологические аспекты адаптаций и популяционная организация у рыб».

Данные об изменении соотношения зрелых и незрелых клеток красной крови, наличия/отсутствия патологических изменений, соотношения различных типов лейкоцитов в периферической крови различных видов рыб часто отрывочны и не дают полного представления об изменениях показателей крови при изменениях температуры среды.

Особый интерес у исследователей вызывают сведения о верхних летальных температурах (ВЛТ) у различных тепло- и холодолюбивых видов рыб в диапазоне от 27 до 43 °С [7–11]. Несмотря на большой объем полевых и экспериментальных данных по ВЛТ, реакция гематологических показателей рыб на экстремальные температурные условия, нагрев воды при различных значениях скорости, на возможность выживания при сублетальных значениях температуры, а также на сброс подогретых вод тепловых и атомных электростанций изучена недостаточно [12].

Цель работы – определить верхнюю температурную границу жизнедеятельности у серебряного карася *Carassius auratus* L. и головешки-ротана *Perccottus glenii* Dybowski, 1877, а также определить направление изменения показателей красной и белой крови у данных видов рыб при различных значениях скорости нагрева воды.

Материалы и методики

Для опытов были использованы трехлетки серебряного карася и двухлетки головешки-ротана, отловленные в прудах вблизи пос. Борок Ярославской области и в прибрежье Рыбинского водохранилища. Особей акклиматизировали в течение 10 суток в аквариумах с постоянной аэрацией воды при температуре ~20 °С. Рыб кормили один раз в сутки комбикормом и рыбным фаршем в количестве 5 % от массы тела рыб. После 7-дневного периода акклиматизации рыб с нормальной двигательной активностью («реакция избегания сачка») отбирали для экспериментов по определению критического термического максимума (КТМ).

Группы рыб (по 6 особей в каждой) помещали в экспериментальный аквариум (объемом 60 л) с аэрацией и повышали температуру воды с определенной постоянной скоростью – 4,0; 8,0; 14,0; 25,0 и 40,0 °С/ч. При нагреве со скоростью 4,0; 8,0 и 14,0 °С/ч использовались кипятильники мощностью 0,3; 0,63 и 1,2 кВт соответственно. Более высокую скорость нагрева обеспечивали нагревательными элементами мощностью 2,4 и 3,6 кВт. Скорость нагрева рассчитывалась после завершения опыта по формуле

$$V_{\text{н}} = (t_2 - t_1) / T,$$

где $V_{\text{н}}$ – скорость нагрева, °С/ч; t_1 – температура воды в начале опыта, °С; t_2 – температура воды в конце опыта, °С; T – длительность опыта, ч.

Для определения значений ВЛТ использовали стандартный метод КТМ. Температуру, при которой происходил переворот тела рыбы на бок или кверху брюшком, принимали за значение КТМ [8–11]. При дальнейшем нагреве рыбы обычно вскоре погибают. Если же сразу после переворота тела снижать температуру, рыбы, как правило, выживают.

Всего в общей сложности исследовали 30 особей серебряного карася (средняя длина тела 6,5 см, средняя масса 6,3 г) и 30 особей головешки-ротана (средняя длина тела 6,6 см, средняя масса 7,3 г).

Мазки крови готовили из венозной крови путем каудэктомии после оглушения рыб. Высушенный на воздухе мазок фиксировали в 96-градусном спирте и окрашивали по Романовскому – Гимзе по стандартной методике [13] при pH 7,0. На мазках оценивали эритро- и лейкопозы. Помимо этого подсчитывали количество поврежденных клеток (эритроцитов), как показатель устойчивости клеток, а также количество амитозов.

При оценке эритропоза определяли относительное количество эритроцитов разной степени зрелости: эриробластов, незрелых и зрелых эритроцитов. Подсчитывали не менее 500 клеток, результаты выражали в процентах. Одновременно вели учет амитотически делящихся эритроцитов, которые определяли по наличию гантелевидных ядер в клетках, микроцитов, а также безъядерных клеток (как результат завершеного амитоза), результат также выражали в процентах. Долю разрушенных клеток на мазке рассчитывали по отношению к общему количеству клеток красной крови.

При идентификации лейкоцитов использовали классификацию Н. Т. Ивановой [14]. Процентное соотношение лейкоцитов, или лейкоцитарную формулу, определяли, подсчитывая на мазках 200 клеток белой крови. Количество тромбоцитов подсчитывали параллельно с подсчетом лейкоцитов и их долю рассчитывали, %, по формуле

$$\text{Трц} = \text{Трц} / (\text{Лк} + \text{Трц}) \cdot 100,$$

где Лк – лейкоциты, Трц – тромбоциты.

Результаты выражали в виде средних значений и их ошибок, достоверность оценивали по критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные данные, полученные при определении КТМ у трехлеток серебряного карася и двухлеток головешки-ротана, приведены в табл. 1. Начальные значения КТМ (переворот первой особи) у серебряного карася наблюдались при температуре от ~35 до 37 °С. Аналогичная реакция у последних особей в каждом опыте наблюдалась в диапазоне значений температуры от 36 до 38 °С. Судя по средним значениям, максимальная термоустойчивость серебряного карася отмечена при минимальной скорости нагрева. При всех остальных значениях скорости нагрева средние значения КТМ колебались незначительно, но всегда были на 2–3 °С ниже.

В сравнении с серебряным карасем двухлетки головешки-ротана оказались менее термоустойчивыми. Переворот тела на бок или кверху брюшком у первых особей в каждом опыте отмечен при разных значениях скорости нагрева в диапазоне значений температуры от ~31,5 до 34,5 °С, а у последних в каждой серии – от 34 до 36 °С. Динамика средних значений КТМ несколько отличалась от аналогичной у серебряного карася. Хотя показатель КТМ также был максимальным при самой низкой скорости нагрева воды, в дальнейшем наблюдалось некоторое (на 2,5 °С) понижение термоустойчивости.

Как известно, значения КТМ отражают сублетальные уровни ВЛТ у рыб [8, 9]. Так, например, известно, что в диапазоне значений температуры от 34 до 38 °С возможный тепловой шок является для рыб «генотоксичным», поскольку вызывает увеличение частоты aberrаций хромосом в метафазе, а также приводит к однопочечным повреждениям ДНК [15]. В зоне высокой температуры (от 30–32 до 34–35 °С и выше) питание и рост рыб явно угнетены, а возможность повреждающих и летальных последствий весьма велика [15].

Результаты по значениям КТМ при скорости нагрева 4 °С/ч у обоих видов почти совпадают с данными, приведенными в [8], что говорит о возможности устойчивого получения экспериментальных данных по ВЛТ рыб и их использования для экспертной оценки тепловой нагрузки на пресноводные водоемы.

Таблица 1

Критический термический максимум у трехлеток серебряного карася и двухлеток головешки-ротана при различных значениях скорости нагрева

Скорость нагрева, °С/ч	У индивидуальных особей						Средняя ± ошибка
	Серебряный карась						
4	36,8	37,0	37,8	37,9	38,1	38,2	37,6 ± 0,2 ^a
8	34,9	36,1	36,1	36,2	36,9	36,9	36,2 ± 0,3 ^б
14	35,8	35,9	36,1	36,9	36,9	37,1	36,5 ± 0,2 ^б
25	34,9	35,9	35,9	36,1	36	35,9	35,8 ± 0,2 ^б
40	36,0	36,0	36,7	36,7	36,9	36,9	36,5 ± 0,2 ^б
	Головешка-ротан						
4	34,7	34,9	35,8	35,9	36,1	36,1	35,6 ± 0,3 ^a
8	32,9	34,1	33,9	34,1	34,9	34,8	34,1 ± 0,3 ^б
14	31,9	32,8	32,8	32,8	32,9	34,1	32,9 ± 0,3 ^б
25	31,7	33,1	32,9	34,2	34,1	34,1	33,4 ± 0,4 ^б
40	32,1	32,1	33,0	33,0	34	34,1	33,1 ± 0,4 ^б

Примечание: Значения показателей с разными индексами в столбце достоверно различаются, $p < 0,05$.

Результаты, полученные при исследовании клеток белой и красной крови двух видов, приведены в табл. 2 и 3. Достоверные изменения показателей крови отмечены у серебряного карася по лейкоцитам – при скорости нагрева более 8,0 °С/ч, по эритроцитам – при скорости более 4,5 °С/ч, у головешки-ротана – 14,0 и 4,5 °С/ч соответственно.

Обнаружены достоверно отличающиеся от контроля лимфопения (уменьшение относительного количества лимфоцитов) и нейтрофилия (увеличение долей незрелых нейтрофилов – миелоцитов и метамиелоцитов, тогда как изменений зрелых форм нейтрофилов – палочко- и сегментоядерных нейтрофилов не наблюдали). Выявленные изменения свидетельствуют о том, что клетки белой крови реагируют на резкое повышение температуры реакцией неспецифического стресса, как на действие любых неблагоприятных абиотических и биотических, в том числе антропогенных, факторов [16]. Следует отметить, что доли бластных форм клеток, при наименьшей скорости нагрева незначительно повышаются относительно контроля, а потом резко уменьшаются. Это может быть связано с дозреванием клеток и их выбросом в кровяное русло при повышении температуры воды.

Среди показателей красной крови следует отметить исчезновение из периферического русла незрелых форм клеток. Данное явление также может быть связано с дозреванием эритроцитов или ускоренным выбросом зрелых клеток из «депо» в селезенке. Достоверное увеличение количества амитозов среди эритроцитов можно считать компенсаторной реакцией красной крови на дефицит кислорода при увеличении температуры воды. Подобное явление описано у карасей, обитающих в дефицитных по содержанию кислорода водоемах [14]. Амитоз, как тип деления, не связанный со сложной перестройкой хроматинового аппарата – это быстрый способ увеличения количества переносчиков кислорода. До сих пор продолжается дискуссия о том, является ли амитоз компенсаторной реакцией на дефицит кислорода, или это признак патологического состояния эритроцитов, т. к. при этом повреждается генетический аппарат клетки, и она становится неспособной к дальнейшему делению [13]. Увеличение количества поврежденных клеток на мазках крови указывает на уменьшение резистентности мембран клеток при резком повышении температуры.

Отличия в развитии реакции у серебряного карася и головешки-ротана при разных значениях температуры нагрева может быть связано с их различной чувствительностью к гипоксии при повышении температуры воды.

Таблица 2

Соотношение клеток красной и белой крови в периферической крови у трехлеток серебряного карася при различных значениях скорости нагрева воды, %*

Показатель	Скорость нагрева воды, °С/ч					
	0 (контроль)	4,5	8,0	14,0	25,0	40,0
Лейкоциты						
Лимфоциты	73,7 ± 12,2	73,7 ± 6,1	48,6 ± 4,4*	43,8 ± 4,6*	44,0 ± 4,7*	42,7 ± 4,5*
Моноциты	1,7 ± 1,1	2,1 ± 1,8	2,1 ± 1,1	2,1 ± 1,0	2,0 ± 0,7	1,9 ± 0,6
Бластные клетки	4,3 ± 1,6	6,4 ± 3,8	5,7 ± 2,5	2,5 ± 1,2	2,3 ± 0,9	2,0 ± 0,6
Миелоциты	10,3 ± 5,1	14,6 ± 2,2	27,3 ± 5,8*	28,3 ± 4,6*	27,1 ± 3,3*	26,6 ± 1,6*
Метамиелоциты	8,1 ± 5,7	5,0 ± 3,1	14,1 ± 0,5	17,3 ± 0,8*	21,0 ± 2,8*	21,5 ± 4,0*
Нейтрофилы:						
палочкоядерные	2,3 ± 3,3	1,2 ± 2,0	2,1 ± 1,5	2,3 ± 1,1	4,1 ± 1,3	4,6 ± 1,8
сегментоядерные	2,4 ± 3,6	3,4 ± 4,4	3,2 ± 0,5	5,1 ± 2,9	2,6 ± 0,8	3,2 ± 0,5
Эритроциты						
Эритробласты	0,6 ± 0,6	0,1 ± 0,3	0,2 ± 0,4	0,9 ± 1,2	0,2 ± 0,5	0,1 ± 0,3
Эритроциты:						
незрелые	1,8 ± 1,7	0,4 ± 0,7	2,7 ± 3,6	2,4 ± 4,4	0,7 ± 1,1	0,3 ± 0,7
зрелые	97,6 ± 1,5	99,5 ± 0,7	97,0 ± 3,8	96,7 ± 4,6	99,1 ± 1,5	99,6 ± 0,7
Амитозы	2,6 ± 2,3	8,2 ± 3,4	6,1 ± 7,2	14,9 ± 0,8*	12,7 ± 1,8*	12,5 ± 0,4*
Микроциты	1,2 ± 1,5	15,7 ± 6,6*	7,5 ± 5,9	14,4 ± 5,8*	12,6 ± 2,7*	12,7 ± 3,6*
Поврежденные клетки	0	2,7 ± 3,8	21,4 ± 7,9*	27,8 ± 5,0*	28,0 ± 4,8	33,6 ± 7,8*

* Показатели статистически достоверно отличаются от контроля, $p < 0,05$.

Соотношение клеток красной и белой крови в периферической крови у двухлеток головешки-ротана при различных значениях скорости нагрева воды, %*

Показатель	Скорость нагрева воды, °С/ч					
	0 (контроль)	4,5	8,0	14,0	25,0	40,0
Лейкоциты						
Лимфоциты	46,6 ± 7,0	42,0 ± 2,1	45,6 ± 5,3	26,3 ± 4,7*	25,3 ± 7,2*	22,4 ± 3,5*
Моноциты	0,5 ± 0,7	0,6 ± 0,6	3,3 ± 1,6	1,9 ± 1,7	2,3 ± 0,9	1,7 ± 1,4
Бласты	0,1 ± 0,2	0,3 ± 0,3	1,0 ± 1,0	0,6 ± 0,6	0,8 ± 0,7	1,3 ± 1,1
Промиелоциты	37,7 ± 5,8	43,8 ± 6,5	33,3 ± 2,0	43,7 ± 3,6	46,2 ± 5,0	45,9 ± 3,2
Миелоциты	14,3 ± 2,2	11,6 ± 5,6	13,5 ± 4,7	20,6 ± 4,5	17,9 ± 4,5	19,6 ± 1,9
Нейтрофилы: палочкоядерные	0,4 ± 0,6	0,8 ± 0,8	2,0 ± 1,5	2,3 ± 0,9	2,3 ± 2,4	0,4 ± 0,6
сегментоядерные	0,4 ± 0,5	0,9 ± 0,7	1,3 ± 0,6	2,1 ± 1,3	1,6 ± 1,4	2,7 ± 2,0
Эритроциты						
Эритробласты	0	0	0,1 ± 0,2	0,3 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0
Эритроциты: незрелые	0,1 ± 0,1	0	0,2 ± 0,3	0,4 ± 0,4	0	0,3 ± 0,5
зрелые	99,4 ± 0,9	88,9 ± 4,7	90,9 ± 2,8	86,2 ± 3,6	82,5 ± 13,6	84,7 ± 1,4
Амитозы	0,1 ± 0,2	0	1,0 ± 0,4	2,6 ± 1,6*	1,6 ± 0,7*	0,3 ± 0,5
Микроциты	0,4 ± 0,6	0	0,7 ± 0,4	1,4 ± 0,9	0,7 ± 0,5	0
Поврежденные клетки	0	11,1 ± 4,7*	7,2 ± 3,0*	9,3 ± 3,3*	15,1 ± 1,7*	14,7 ± 1,6*

* Показатели статистически достоверно отличаются от контроля, $p < 0,05$.

Таким образом, впервые на примере двух видов рыб – серебряного карася и головешки-ротана – исследованы гематологические показатели (белая и красная кровь) рыб при нагреве воды с разной скоростью. Первые полученные данные свидетельствуют о том, что некоторые гематологические показатели могут служить своеобразными маркерами температурного воздействия на рыб в зоне высоких значений температуры среды. С учетом возможного потепления климата, возникновения аномальных температурных ситуаций в водоемах и увеличения сбросов теплых вод ГРЭС и АЭС, полученные данные возможно использовать для разработки уровней допустимой тепловой нагрузки на естественные водоемы.

Выводы

1. Определены значения КТМ у трехлеток серебряного карася и двухлеток головешки-ротана в летний сезон года в при скорости нагрева воды от 4 до 40 °С/ч. Максимальные значения КТМ отмечены при самой низкой скорости нагрева. При остальных значениях скорости нагрева отмечена или их относительная стабильность (серебряный карась) или понижение термоустойчивости (головешка-ротан). Трехлетки серебряного карася более термоустойчивы в сравнении с двухлетками головешки-ротана.
2. Обнаружено, что к нагреву наиболее чувствительны показатели белой крови (соотношение лимфоцитов и незрелых форм гранулоцитов) и красной крови (незрелые формы эритроцитов, амитозы, разрушенные клетки).
3. Установлено сходство реакций на температурное воздействие у серебряного карася и головешки-ротана. Показано, что изменения в белой крови соответствуют неспецифической реакции на стрессовое воздействие, а изменения в красной крови являются компенсаторными реакциями на возникшую гипоксию.
4. В красной крови после воздействия температуры более 10 °С/ч увеличивается количество амитозов (в 3–5 раз) и количество повреждённых эритроцитов (в 1,5–2 раза). В белой крови снижается количество лимфоцитов (в 1,5–2 раза) и увеличивается количество миелоцитов (на 30–45 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головина Н. А. Кровь как диагностическая система физиологического состояния организма / Н. А. Головина // Первый конгресс ихтиологов России: сб. тез. докл. М.: ВНИРО, 1997. С. 215–216.
2. Иванов А. А. Физиология рыб / А. А. Иванов. М.: Мир, 2003. 284 с.

3. Серпунин Г. Г. Гематологические показатели адаптаций рыб: моногр. / Г. Г. Серпунин. Калининград: Изд-во КГТУ, 2010. 460 с.
4. Микряков В. Р. Закономерности формирования приобретенного иммунитета / В. Р. Микряков. Рыбинск: ИБВВ РАН, 1991. 153 с.
5. Житенева Л. Д. Эколого-гематологические характеристики некоторых видов рыб. Справочник / Л. Д. Житенева, О. А. Рудницкая, Т. И. Калюжная. Ростов н/Д, 1997. 149 с.
6. Akhtar M. S. Thermal tolerance, oxygen consumption and haemato-biochemical variables of *Tor putitora* juveniles acclimated to five temperatures / M. S. Akhtar, A. K. Pal, N. P. Sahu, A. Ciji, P. C. Mahanta // Fish. Physiol. Biochem. 2013. Vol. 39, no. 6. P. 1387–1398.
7. Beitinger T. L. Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature / T. L. Beitinger, W. A. Bennet, R. W. McCauley // Environ. Biol. Fish. 2000. Vol. 58, no. 3. P. 237–275.
8. Голованов В. К. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб / В. К. Голованов. М.: Полиграф-Плюс, 2013. 300 с.
9. Голованов В. К. Эколого-физиологические закономерности распределения и поведения пресноводных рыб в термоградиентных условиях / В. К. Голованов // Вопр. ихтиологии. 2013. Т. 53, № 3. С. 286–314.
10. Капшай Д. С. Верхняя летальная температура у молоди теплолюбивых видов рыб в зависимости от температуры акклимации / Д. С. Капшай, В. К. Голованов // Тр. Карел. НЦ РАН. Сер.: Экспериментальная биология. 2013. № 3. С. 185–189.
11. Голованов В. К. Сравнительный анализ температурного оптимума и верхней температурной границы жизнедеятельности у молоди рыб, обитающих в водоемах Верхней Волги / В. К. Голованов, Д. С. Капшай // Физиология и биохимия водных животных. Ярославль: Канцлер, 2015. С. 80–90.
12. Мазур О. Е. Некоторые показатели крови сибирской плотвы *Rutilus rutilus* в зоне влияния теплых вод Гусиноозерской ГРЭС (Восточная Сибирь) / О. Е. Мазур // Изв. РАН. Сер. биол. 2015. № 6. С. 668–672.
13. Житенева Л. Д. Ихтиогематология / Л. Д. Житенева, О. А. Рудницкая, Т. И. Калюжная. Ростов н/Д, 2004. 256 с.
14. Иванова Н. Т. Атлас клеток крови рыб. Сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб / Н. Т. Иванова. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1983. 110 с.
15. Anitha V. Genotoxicity evaluation of heat shock in gold fish (*Carassius auratus*) / V. Anitha, N. Chandra, P. M. Gopinath, G. Durairaj // Mutat. Res. Genet. Toxicol. and Environ. Mutagen. 2000. Vol. 469, no 1. P. 1–8.
16. Микряков В. Р. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды / В. Р. Микряков, Л. В. Балабанова, Е. А. Заботкина, Латерова Т. Б., Попов А. В. М.: Наука, 2001. 126 с.

Статья поступила в редакцию 17.03.2016

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Голованов Владимир Константинович – Россия, 152742, Ярославская обл., пос. Борок; Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук; г-р биол. наук, старший научный сотрудник; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии рыб; vkgolovan@mail.ru.

Заботкина Елена Анатольевна – Россия, 152742, Ярославская обл., пос. Борок; Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук; канд. биол. наук; ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и токсикологии водных животных; zabelan@mail.ru.

Некрутов Никита Сергеевич – Россия, 152742, Ярославская обл., пос. Борок; институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук; аспирант лаборатории экологии рыб; nikita.nekrutov@mail.ru.

Грачёва Екатерина Леонидовна – Россия, 150000, Ярославль; Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова; старший преподаватель кафедры «Органическая и биологическая химия»; 6652553@mail.ru.



V. K. Golovanov, E. A. Zobotkina, N. S. Nekrutov, E. L. Gracheva

**EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON BLOOD PARAMETERS
IN JUVENILE SILVER CARP *CARASSIUS AURATUS*
AND AMUR SLEEPER *PERCCOTTUS GLENII***

Abstract. The values of the critical thermal maximum under heating rate of the water from 4 to 40 °C/h in two fish species – the three-year silver carp *Carassius auratus* and two-year Amur sleeper *Perccottus glenii* were experimentally determined. The haematological parameters (red and white blood) of fish exposed to heating were studied at the same time. The maximum values of critical thermal maximum were fixed at the lowest heating rate. For other heating rates either their relative stability (silver carp) or lowering of thermal resistance (Amur sleeper) was observed. Three-year silver carp is more heat resistant in comparison with the two-year Amur sleeper. The white blood cells (the ration of lymphocytes and immature granulocytes) and red blood cells (immature forms of erythrocytes, amitosis destroyed cells) were the most sensitive to heat indicators. The similarity of reactions to thermal effects in silver carp and Amur sleeper was observed. It was found that in white blood changes are consistent with non-specific response to the stress effect, but in red blood changes are compensatory responses to hypoxia arisen. The red blood cells after exposure to a temperature of 10 °C/h have a higher number of amitosis (by 3–5 times) and the number of damaged red blood cells (by 1.5–2 times). In white blood the number of lymphocytes decreases (by 1.5–2 times) and the number of myelocytes increases (30–45 %). The resulting data can be used in assessing the levels of thermal loading on natural water bodies and evaluation of potential opportunities of fish thermal adaptation.

Key words: fish, upper lethal temperature, critical thermal maximum, hematology, white blood, red blood, Amur sleeper, silver carp.

REFERENCES

1. Golovina N. A. Krov' kak diagnosticheskaja sistema fiziologicheskogo sostoianiia organizma [Blood as a diagnostic system of physiological state of the organism]. *Pervyi kongress ikhtologov Rossii: sbornik tezisov dokladov*. Moscow, VNIRO. P. 215–216.
2. Ivanov A. A. *Fiziologija ryb* [Fish physiology]. Moscow, Mir Publ., 2003. 284 p.
3. Serpunin G. G. *Gematologicheskie pokazateli adaptatsii ryb* [Hematological indicators of fish adaptation]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2010. 460 p.
4. Mikriakov V. R. *Zakonomernosti formirovaniia priobretennogo immuniteta* [Peculiarities of formation of the acquired immunity]. Rybinsk, IBVV RAN, 1991. 153 p.
5. Zhiteneva L. D., Rudnitskaia O. A., Kaliuzhnaia T. I. *Ekologo-gematologicheskie kharakteristiki nekotorykh vidov ryb. Spravochnik* [Ecological and hematological characteristics of some fish species. Reference]. Rostov-on-Don, 1997. 149 p.
6. Akhtar M. S., Pal A. K., Sahu N. P., Ciji A., Mahanta P. C. Thermal tolerance, oxygen consumption and haemato-biochemical variables of *Tor putitora* juveniles acclimated to five temperatures. *Fish. Physiol. Biochem.* 2013, vol. 39, no. 6, pp. 1387–1398.
7. Beitinger T. L., Bennet W. A., McCauley R. W. Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environ. Biol. Fish.*, 2000, vol. 58, no. 3, pp. 237–275.
8. Golovanov V. K. *Temperaturnye kriterii zhiznedeiatel'nosti presnovodnykh ryb* [Temperature criteria of life cycle of freshwater fish]. Moscow, Poligraf-Plius Publ., 2013. 300 p.
9. Golovanov V. K. *Ekologo-fiziologicheskie zakonomernosti raspredeleniia i povedeniia presnovodnykh ryb v termogradientnykh usloviiakh* [Ecological and physiological peculiarities of distribution and behavior of freshwater fish in thermal gradient conditions]. *Voprosy ikhtiologii*, 2013, vol. 53, no. 3, pp. 286–314.
10. Kapshai D. S., Golovanov V. K. Verkhniaia letal'naia temperatura u molodi teploljubivykh vidov ryb v zavisimosti ot temperatury akklimatsii [Upper lethal temperature of juvenile thermophilic fish species depending on the temperature of acclimatization]. *Trudy Karel'skogo NTs RAN. Seriya: Eksperimental'naiia biologii*, 2013, no. 3, pp. 185–189.
11. Golovanov V. K., Kapshai D. S. Sravnitel'nyi analiz temperaturnogo optimuma i verkhnei temperaturnoi granitsy zhiznedeiatel'nosti u molodi ryb, obitaiushchikh v vodoemakh Verkhnei Volgi [Comparative analysis of thermal optimum and upper temperature limit of life cycle of fish juvenile inhabiting the Upper Volga]. *Fiziologija i biokhimiia vodnykh zhivotnykh*. Yaroslavl, Kantsler Publ., 2015. P. 80–90.
12. Mazur O. E. Nekotorye pokazateli krovi sibirskoi plotvy *Rutilus rutilus* v zone vliianiia teplykh vod Gusinozerskoi GRES (Vostochnaia Sibir') [Some parameters of Siberian roach blood in the area of influence

of warm waters of Gusinoozerskaya hydro power unit (Eastern Siberia)]. *Izvestiia RAN. Serii biologicheskaja*, 2015, no. 6, pp. 668–672.

13. Zhiteneva L. D., Rudnitskaia O. A., Kaliuzhnaia T. I. *Ikhtioematologiya* [Fish hematology]. Rostov-on-Don, 2004. 256 p.

14. Ivanova N. T. *Atlas kletok krovi ryb. Sravnitel'naiia morfologiia i klassifikatsiia formennykh elementov krovi ryb* [Atlas of fish blood cells. Comparative morphology and classification of formal elements of fish blood]. Moscow, Legkaia i pishchevaia promyshlennost' Publ., 1983. 110 p.

15. Anitha B., Chandra N., Gopinath P. M., Durairaj G. Genotoxicity evaluation of heat shock in gold fish (*Carassius auratus*). *Mutat. Res. Genet. Toxicol. and Environ. Mutagen*, 2000, vol. 469, no 1, pp. 1–8.

16. Mikriakov V. R., Balabanova L. V., Zobotkina E. A., Laterova T. B., Popov A. V. *Reaktsiia immunnoi sistemy ryb na zagriaznenie vody toksikantami i zakislenie sredy* [Reaction of immune system of fish on water pollution with toxicants and environment acidification]. Moscow, Nauka Publ., 2001. 126 p.

The article submitted to the editors 17.03.2016

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Golovanov Vladimir Konstantinovich – Russia, 152742, Yaroslavl region, Borok; Institute of Biology of inland Waters named after I. D. Papanin, Russian Academy of Sciences; Doctor of Biology, Senior Researcher; Leading Research Scientist of the Laboratory of Fish Ecology; vkgolovan@mail.ru.

Zobotkina Elena Anatolievna – Russia, 152742, Yaroslavl region, Borok; Institute of Biology of Inland Waters named after I. D. Papanin, Russian Academy of Sciences; Candidate of Biology; Leading Research Scientist of the Laboratory of Toxicology of Water Animals; zabelan@mail.ru.

Nekrutov Nikita Sergeevich – Russia, 152742, Yaroslavl region, Borok; Institute of Biology of Inland Waters named after I. D. Papanin, Russian Academy of Sciences; Postgraduate Student of the laboratory of Fish Ecology; nikita.nekrutov@mail.ru.

Gracheva Ekaterina Leonidovna – Russia, 152742, Yaroslavl region; Yaroslavl State University named after P. G. Demidov; Senior Lecturer of the Department "Organic and Biological Chemistry"; 6652553@mail.ru.

