

Л. Ю. Карпенко, И. А. Махнин, Ю. Е. Беренев, А. А. Бахта

Прогностическое значение некоторых лейкоцитарных индексов интоксикации и реактивности у рыб при действии физико-химических стрессоров

Аннотация.

Цель: определение прогностического значения лейкоцитарных индексов интоксикации и реактивности у рыб при действии некоторых физико-химических стрессоров.

Материалы и методы. Объектом исследования служили сеголетки плотвы обыкновенной *Rutilus rutilus* (L.). Контрольные и опытные группы формировались с учетом принципа аналогов ($n=90$). Средняя масса (Pp) – $5,29 \pm 1,0$ г, длина (TL) – $7,22 \pm 0,39$ см, рыбы ювильного периода развития (половая структура не устанавливалась). Особей акклиматизировали (10 сут.) и содержали в аквариумах (объем – 200 л.) Нами рассмотрены следующие индексы: индекс Кребса, лейкоцитарный индекс интоксикации, индекс сдвига лейкоцитов крови, лейкоцитарный индекс. В качестве физико-химических стрессоров исследовались сублетальные концентрации меди (экспозиция в соли меди 0,01 мг/л и 0,1 мг/л в течение 7 и 14 суток); имитация главной фазы и начального периода фазы геомагнитной бури; действие высокой температуры.

Результаты. Проведенный анализ лейкоцитарных индексов интоксикации и реактивности показал, что у рыб наибольшее прогностическое значение имеют индекс Кребса и лейкоцитарный индекс. Информативность индекса сдвига лейкоцитов крови и лейкоцитарного индекса интоксикации следует считать спорной. Индекс сдвига лейкоцитов крови увеличивался только при экспозиции солями меди в течение 14 суток и при действии физических стрессоров. Статистически значимых изменений индекса сдвига лейкоцитов крови при экспозиции солями меди в течение 7 суток не выявлено, что может свидетельствовать о низкой чувствительности индекса. Результаты, полученные при расчете лейкоцитарного индекса интоксикации, аналогичны результатам при определении индекса Кребса. Специфические изменения индекса при действии физико-химических стрессоров не выявлены.

Ключевые слова: лейкоцитарные индексы; плотва; кровь; лейкоциты; эндогенная интоксикация; физико-химические стрессоры.

Авторы:

Карпенко Лариса Юрьевна — доктор биологических наук, профессор; e-mail: l.u.karpenko@mail.ru;

Махнин Илья Алексеевич — студент; e-mail: ilya.makh@mail.ru;

Беренев Юрий Евгеньевич — магистр; e-mail: yberenev@list.ru;

Бахта Алеся Александровна — кандидат биологических наук; e-mail: ab-2003@yandex.ru.

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины; 196084, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5.

Введение. Техногенная трансформация окружающей среды ведет к деградации экосистем, что находит отражение в сокращении биоразнообразия ихтиофауны, в результате чего снижаются доходы от промышленного лова рыб [1, 2]. Динамика гематологических показателей, в частности, количество и соотношение лейкоцитарных клеток, может служить индикатором изменения среды обитания, например, повышения средней температуры водоема или загрязнения среды поллютантами [3, 4]. Параметры лейкоцитарной формулы используются для расчета

лейкоцитарных индексов, характеризующих степень выраженности эндогенной интоксикации в организме человека и животных [5]. Лейкоцитарные индексы получили достаточно широкое распространение в гуманной медицине, однако в ветеринарной медицине роль и информативность индексов требует уточнения. Отсутствуют или противоречивы данные характеризующие лейкоцитарные индексы у различных классов хордовых (*Chordata*). Особенно дефицит информации ощущается в надклассе рыбы (*Pisces*). В связи с чем актуален вопрос изучения лейкоцитарных

индексов интоксикации и реактивности, определения их информативности, а также чувствительности и специфичности.

Цель исследований — определение прогностического значения лейкоцитарных индексов интоксикации и реактивности у рыб при действии некоторых физико-химических стрессоров.

Материалы и методы. Работа выполнена на базе кафедры биохимии и физиологии ФГБОУ ВО СПбГУВМ и лаборатории физиологии и токсикологии ФГБУН ИБВВ РАН им. И. Д. Папанова. Объектом исследования служили сеголетки плотвы обыкновенной *Rutilus rutilus* (L.) в количестве 90 особей. Контрольные и опытные группы формировались с учетом принципа аналогов [6]. Средняя масса особей (P_p) — $5,29 \pm 1,0$ г, длина (TL) — $7,22 \pm 0,39$ см, рыбы ювенильного периода развития (половая структура не устанавливалась). Особей акклиматизировали (10 сут.) и содержали в аквариумах (объем — 200 л.)

Аэрацию воды осуществляли воздушным компрессором модели SERA air 110 R plus, производительностью 110 л/ч. Гидрохимический режим поддерживали на уровне нормативных значений для карповых рыб. Температурный режим (20°C) поддерживали нагревателем электронным модели ЕНЕИМ е150 мощностью 150 Вт. Кормление осуществляли один раз в сутки комбикормом (ВБС РЖ-81) и рыбным фаршем (масса корма равнялась 5 % от массы рыб). На 7 день акклиматизации рыб с нормальной двигательной активностью (положительная «реакция избегания сачка») отбирали для экспериментов.

Данная работа включала в себя три серии опытов:

Серия 1. В опыте изучалось влияние сублетальных концентраций соли меди на лейкоцитарные показатели у рыб. Схема опыта включала в себя использование 5-ти групп по 10 особей: од-

ну контрольную — условия содержания которой были аналогичны показателям, используемым для акклиматизации рыб, и четыре подопытные. В опытных группах в качестве токсиканта использовали сульфат меди CuSO_4 в сублетальной концентрации 0,1 мг/л и 0,01 мг/л (по иону Cu). Длительность эксперимента составляла 7 и 14 суток для каждой концентрации. Для поддержания постоянной концентрации токсиканта 3/4 воды заменяли ежедневно с соответствующей концентрацией сульфата меди. Выбор короткого срока проведения эксперимента обусловлен высокой токсичностью меди, которая способна приводить к изменениям в короткие сроки.

Серия 2. Верхние границы термоустойчивости определяли, используя метод критического термического максимума (далее КТМ). КТМ — форма локомоторного ответа рыб, заключающаяся в потере равновесия (рыбы переворачивались на бок или кверху брюшком) [3]. Опытную группу рыб ($n=10$) помещали в экспериментальный аквариум (объемом 60 л) и повышали температуру воды с постоянной скоростью: $8,0^\circ\text{C}/\text{ч}$. Для нагрева использовали тэн мощностью 0,63 Квт. Контрольная группа рыб ($n=10$) содержалась при температуре 20°C .

Серия 3. Схема опыта включала в себя использование 2-х групп по 10 особей: контрольную группу — содержащуюся в условиях естественного магнитного поля и подопытную — экспонированную в имитации главной фазы и начального периода фазы геомагнитной бури (далее ИГВФМБ), диапазон колебаний 0-0,001 Гц с размахом амплитуды 300 нТл в течение 24 часов. Опыт проводили во время спокойной геомагнитной обстановки. Генерация исследуемых геомагнитных возмущений, а также компенсация изменений геомагнитного поля в реальном времени осуществлялась при помощи специально разработанной уникальной экспериментальной установки [7].

Таблица 1. Лейкограмма периферической крови *Rutilus rutilus* (L.) под влиянием химических стрессоров ($M \pm m$, $n=50$)

Виды лейкоцитов	Контроль I	Cu^1 (7 сут.)	Cu^1 (14 сут.)	Cu^2 (7 сут.)	Cu^2 (14 сут.)
Лимфоциты, %	$84,63 \pm 0,59$	$87,67 \pm 3,8$	$72,0 \pm 4,6^*$	$85,53 \pm 0,72$	$71,19 \pm 4,8^*$
Моноциты, %	$0,97 \pm 0,14$	$0,67 \pm 0,2$	0*	$0,43 \pm 0,09^*$	0*
Миелоциты, %	$2,0 \pm 0,16$	$0,93 \pm 0,1^*$	$2,3 \pm 0,8$	$0,87 \pm 0,14^*$	$2,2 \pm 0,8$
Метамиелоциты, %	$4,63 \pm 0,4$	$4,81 \pm 0,8$	$6,1 \pm 0,71^*$	$4,07 \pm 0,34$	$6,3 \pm 1,23^*$
Палочкоядерные нейтрофилы, %	$3,4 \pm 0,22$	$1,5 \pm 0,4^*$	$17,0 \pm 3,7^*$	$1,53 \pm 0,24^*$	$10,61 \pm 1,8^*$
Сегментоядерные нейтрофилы, %	$2,13 \pm 0,22$	$0,42 \pm 0,1^*$	$2,8 \pm 0,44$	$0,73 \pm 0,15^*$	$5,2 \pm 0,76^*$
Эозинофилы, %	$1,17 \pm 0,13$	$3,33 \pm 0,8^*$	0*	$6,23 \pm 0,5^*$	$4,5 \pm 0,3^*$

Примечание: * статистически достоверно отличается относительно показателей рыб контрольной группы ($p \leq 0,05$ при t критическом 2,101). « 1 » - экспозиция при концентрации 0,01 мг/л; « 2 » - экспозиция при концентрации 0,1 мг/л;

Умерщвление рыбы проводилось с соблюдением принципов гуманизма, согласно ГОСТ 33219-2014 «Правила содержания и ухода за рыбами, амфибиями и рептилиями».

Отбор проб крови проводился методом канюльки, после оглушения рыб. Мазки крови фиксировали этиловым спиртом (96°) и окрашивали по методу Романовского-Гимза [4]. Анализ мазков проводился с использованием светового микроскопа Keyence VHX 1000E с объективом Z500 (при увеличении $\times 1000$). Обнаруженные лейкоциты дифференцировали как лимфоциты, моноциты, миелоциты, метамиелоциты, палочкоядерные нейтрофилы, сегментоядерные нейтрофилы, эозинофилы, гемоцитобласты [8].

Рассчитаны следующие лейкоцитарные индексы: Индекс Кребса (далее - ИК), Лейкоцитарный индекс интоксикации (далее - ЛИИ), Индекс сдвига лейкоцитов крови (далее - ИСЛК) и Лейкоцитарный индекс (далее - ЛИ) [5].

Статистическая обработка результатов проводилась в программе Microsoft Excel 2010. Для определения статистически значимых различий между выборками использовался *t*-критерий Стьюдента, при $p \leq 0.05$.

Результаты и их обсуждение. По результатам исследований определены лейкограммы (табл. 1, 2) и рассчитаны лейкоцитарные индексы (табл. 3, 4) периферической крови плотвы обыкновенной.

Анализ результатов лейкограмм показал, что лейкоцитарный профиль сеголеток плотвы в контрольных и опытных группах носит лимфоцитарный характер. Химические стрессоры привели к следующим изменениям: появление эозинофилии на 7-е сутки экспозиции; увеличение популяции палочкоядерных нейтрофилов на 14 сутки, что можно рассматривать в качестве адаптационного механизма, повышающего резистентность организма.

Значение КТМ для молоди плотвы составило $27,50 \pm 0,25^\circ\text{C}$, что говорит о неустойчивости вида

к высоким температурам. Под воздействием КТМ обнаружены достоверно отличающиеся от контроля лимфопения и нейтрофилия (увеличение числа палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов). Выявленные изменения свидетельствуют о том, что лейкоциты реагируют на резкое повышение температуры неспецифической реакцией на стрессовое воздействие, как на действие любых неблагоприятных абиотических и биотических факторов [9]. Изменения лейкограмм при действии ИГВФМБ схожи с картиной, наблюдаемой при действии КТМ.

Индекс Кребса. В контроле I индекс составлял $0,06 \pm 0,01$ усл.ед, в контроле II - $0,1$ усл. ед. и контроле III - $0,04$ усл. ед. На фоне иммуносупрессивного действия соли меди ($0,01$ мг/л) ИК понизился на 7-е сутки до $0,02$ усл. ед., отражая степень ингибирования процессов фагоцитоза. Однако на 14-е сутки индекс Кребса повысился до $0,27$ усл. ед. Сходная картина наблюдается у рыб при концентрации $0,1$ мг/л: на 7-е сутки ИК составил $0,02 \pm 0,01$ усл. ед., на 14 сутки - $0,22 \pm 0,01$ усл. ед. Помимо этого, наблюдается статистически значимое увеличение ИК в опытной группе с использованием КТМ. Действие ИГВФМБ привело к увеличению индекса до $0,22 \pm 0,01$ усл. ед в сравнении с контролем ($0,1 \pm 0$ усл. ед).

Полученные результаты говорят о том, что повышение индекса может наблюдаться при увеличении содержания в лейкоцитарной формуле палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов, тем самым указывая на активацию защитной реакции на воздействие стресс-факторов. Также следует отметить, что полученные данные свидетельствуют о высокой чувствительности индекса, но низкой специфичности. Необходимо проведение дополнительных исследований индекса для установления референсных значений степеней интоксикации (легкая, средняя, тяжелая).

Таблица 2. Лейкограмма периферической крови *Rutilus rutilus* (L.) под влиянием физических стрессоров ($M \pm m$, $n=40$)

Виды лейкоцитов	Контроль II	КТМ	Контроль III	ИГВФМБ
Лимфоциты, %	$81,39 \pm 4,1$	$70,17 \pm 3,1^*$	$88,3 \pm 2,7$	$74,5 \pm 5,3^*$
Моноциты, %	0	0	$0,9 \pm 0,4$	0*
Миелоциты, %	$4,3 \pm 1,1$	$2,0 \pm 0,7$	$2,3 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,8$
Метамиелоциты, %	$5,6 \pm 0,9$	$1,92 \pm 0,2^*$	$2,9 \pm 0,8$	$5,6 \pm 1,5$
Палочкоядерные нейтрофилы, %	$8,3 \pm 0,3$	$22,5 \pm 3,1^*$	$2,8 \pm 0,6$	$16,0 \pm 4,1^*$
Сегментоядерные нейтрофилы, %	$0,41 \pm 0,1$	$2,33 \pm 0,4^*$	$1,0 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,3$
Эозинофилы, %	0	0	$1,3 \pm 0,3$	0*

Примечание: * статистически достоверно отличается относительно показателей рыб контрольной группы ($p \leq 0,05$ при *t* критическом 2,101).

Лейкоцитарный индекс интоксикации. ЛИИ в отличие от ИК затрагивает другие элементы лейкоцитарной формулы (эозинофилы и моноциты). В условиях интоксикации тяжелыми металлами важен учет популяции эозинофилов - клеток экстремального реагирования. В контроле I ЛИИ составлял 0,06 усл. ед, в контроле II – 0,1 усл. ед., в контроле III – 0,04 усл. ед. ЛИИ на начальных этапах токсикоза (7-е сутки) составлял 0,02 усл. ед. (0,01 мг/л) и 0,02±0,01 усл. ед. (0,1 мг/л), на поздних (14-е сутки) ЛИИ ровнялся 0,27±0,08 усл. ед. (0,01 мг/л), 0,2±0,03 усл. ед. (0,1 мг/л). Изменчивость индекса в ходе воздействия физических стрессоров была аналогична индексу Кребса. Таким образом, полученные результаты при расчете ЛИИ аналогичны результатам при определении ИК. Специфические изменения ЛИИ при действии физико-химических стрессоров в опытных и контрольных группах не выявлены. Информативность индекса следует считать спорной.

Индекс сдвига лейкоцитов крови. Индекс характеризует соотношение гранулоцитов к агранулоцитам. В контроле I результат равен 0,15±0,04 усл. ед., в контроле II – 0,23±0,04 усл. ед., в контроле III – 0,1±0,03 усл. ед. При медной интоксикации величина ИСЛК в опытных группах составляет 0,12±0,01 усл. ед. (0,01 мг/л, 7 суток); 0,39±0,05 усл. ед. (0,01 мг/л, 14 суток); 0,15±0,01 усл. ед. (0,1 мг/л, 7 суток); 0,4±0,05 усл. ед. (0,1 мг/л, 14 суток). Измене-

ния индекса на 7 сутки прогностической значимости не имеют. При расчете ИСЛК у сеголеток на 14 сутки было отмечено статистически значимое увеличение индекса, что соответствует сдвигу лейкоцитарной формулы влево. Схожий сдвиг лейкоцитарной формулы наблюдался и у других пресноводных рыб [10].

Нейтрофильный лейкоцитоз со сдвигом влево наблюдается, как правило, при оформленных воспалительных процессах и различных интоксикациях [4]. При исследовании физических стрессоров отмечено увеличение ИСЛК в группе КТМ - 0,41±0,03 усл. ед., и в группе ИГВФМБ - 0,33±0,02 усл. ед.

Таким образом, анализ опытных групп показал наличие увеличения индекса при экспозиции солями меди в течение 14 суток, а также в группах КТМ и ИГВФМБ. Статистически значимых изменений ИСЛК при экспозиции солями меди в течение 7 суток не выявлено, что может свидетельствовать о низкой чувствительности индекса.

Лейкоцитарный индекс. Величина ЛИ на 7 сутки экспозиции в соли меди составила 45,6±8,7 усл. ед. (0,01 мг/л) и 37,8±1,1 усл. ед. (0,1 мг/л), что в 3 и 3,6 раза выше, чем в контрольной 15,3±2,1 усл. ед. Это может говорить о повышении роли гуморального иммунитета за счет снижения числа палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов [4]. На 14 сутки происходит уменьшение лейкоцитарного индекса в опытных группах до 3,6±0,7 (0,01 мг/л) и 4,5±1,1

Таблица 3. Динамика лейкоцитарных индексов интоксикации и реактивности под влиянием химических стрессоров, (M±m, n=50)

Индекс (усл.ед.)	Контроль I	Cu ¹ (7 сут.)	Cu ¹ (14 сут.)	Cu ² (7 сут.)	Cu ² (14 сут.)
ИК	0,06±0,01	0,02±0*	0,27±0*	0,02±0,01*	0,22±0,01*
ЛИИ	0,06±0,01	0,02±0*	0,27±0,08*	0,02±0,01*	0,2±0,03*
ИСЛК	0,15±0,04	0,12±0,01	0,39±0,05*	0,15±0,01	0,4±0,05*
ЛИ	15,3±2,1	45,6±8,7*	3,6±0,7*	37,8±1,1*	4,5±1,1*

Примечание: * статистически достоверно отличается относительно показателей рыб контрольной группы ($p \leq 0,05$ при t критическом 2,101) «¹» - экспозиция при конц-ции 0,01 мг/л; «²» - экспозиция при конц-ции 0,1 мг/л

Таблица 4. Динамика лейкоцитарных индексов интоксикации и реактивности под влиянием физических стрессоров, (M±m, n=40)

Индекс (усл.ед.)	Контроль II	КТМ	Контроль III	ИГВФМБ
ИК	0,1±0	0,35±0,04*	0,04±0*	0,22±0,01*
ЛИИ	0,1±0	0,35±0,04*	0,04±0*	0,22±0,01*
ИСЛК	0,23±0,04	0,41±0,03*	0,1±0,03*	0,33±0,02*
ЛИ	9,3±2,1	2,83±0,3*	23,2±1,7*	4,48±0,8*

Примечание: * статистически достоверно отличается относительно показателей рыб контрольной группы ($p \leq 0,05$ при t критическом 2,101)

(0,1 мг/л) за счет увеличения палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов.

В опытной группе КТМ наблюдается понижение ЛИ ($2,83 \pm 0,3$ усл. ед.) в сравнении с контролем ($9,3 \pm 2,1$ усл. ед.) не только за счет увеличения зрелых нейтрофилов, но и ввиду статистически значимого уменьшения лимфоцитов. Значимые изменения лейкоцитарного индекса наблюдаются и при действии ИГВФМБ ($4,48 \pm 0,8$ усл. ед.), в сравнении с контролем ($23,2 \pm 1,7$ усл. ед.). Для расчёта ЛИ используются те же компоненты лейкограммы, что и для ИК. Однако при расчете ИК лимфоциты располагаются в знаменателе, из-за чего значения индекса (при лимфоцитарном профиле крови) стремятся к нулю, чего не наблюдается при определении ЛИ. Наблюдаются статистически значимые изменения индекса при действии физико-химических стрессоров. ЛИ представляет наибольшую ценность у рыб при оценке эндогенной интоксикации.

Заключение. Проведенный анализ лейкоцитарных индексов интоксикации и реактивности показал, что у рыб наибольшее прогностическое значение имеют ИК и ЛИ. Значимость данных индексов связана с тем, что для их расчета требуется учитывать уровень только лимфоцитов и нейтрофилов (палочкоядерных и сегментоядерных), при этом для большинства видов рыб характерен резко лимфоцитарный профиль крови.

Информативность ИСЛК и ЛИИ следует считать спорной. ИСЛК увеличивался только при экспозиции солями меди в течение 14 суток, а также в группах КТМ и ИГВФМБ. Статистически значимых изменений ИСЛК при экспозиции солями меди в течение 7 суток не выявлено, что может свидетельствовать о низкой чувствительности индекса. Результаты полученные при расчете ЛИИ аналогичны результатам при определении ИК. Специфические изменения ЛИИ при действии физико-химических стрессоров не выявлены.

Литература

1. Бахта А. А. Влияние сублетальной концентрации меди и термического шока на лейкоцитарные показатели молоди плотвы обыкновенной (*Rutilus rutilus* L.) / А. А. Бахта, Ю. Е. Беренев, И. А. Махнин // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. — 2021. — № 3. — С. 72-74.
2. Бродский А. К. Глобальный экологический кризис: взгляд на проблему через призму биоразнообразия / А. К. Бродский, Д. В. Сафронова // Междисциплинарный научный и прикладной журнал Биосфера. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 48-70.
3. Голованов В. К. Влияние высокой температуры на показатели крови у молоди серебряного карася *Carassius Auratus* и головешки-ротана *Perccottus Glenii* / В. К. Голованов [и др.] // Вестник Астраханского гос. технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. — 2016. — № 1. — С. 99-106.
4. Заботкина Е. А. Экологическая пластичность гематологических показателей пресноводных костистых рыб / Е. А. Заботкина, Т. Б. Лапирова, В. Е. Середняков // Труды ИБВВ РАН. — 2015. — № 72 (75). — С. 16-29.
5. Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб: Сравнит. морфология и классификация форменных элементов крови рыб. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. — 80 с.
6. Моисеенко Т. И. Морфологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории С. С. Шварца) / Т. И. Моисеенко // Экология. — 2002. — № 6. — С. 463-472.
7. Карпенко Л. Ю. Особенности гематологических показателей крови форели при применении smartbiotic / Л. Ю. Карпенко [и др.] // Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство: Материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. — 2021. — С. 104-107.
8. Правила лабораторной практики: приказ Министерства здравоохранения и социального развития // Собрание законодательства Российской Федерации. 2010. N 16. ст. 1815. N 31. ст. 4161.
9. Ткаченко Е. А. Лейкоцитарные индексы при экспериментальной кадмиевой интоксикации мышей / Е. А. Ткаченко, М. А. Дерхо // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2014. — № 3(47). — С. 196-199.
10. Устройство для генерации магнитных полей и компенсации локального низкочастотного магнитного поля: пат.108640 Рос. Федерация. № 2011119410/28 / Крылов В.В.; заявл. 13.05.2011; опубл. 20.09.2011 Бюл. N 26.

Karpenko L., Makhnin I., Berenev Yu., Bakhta A.

Prognostic value of some leukocyte indices of intoxication and reactivity in fish under the action of physico-chemical stressors

Abstract.

Purpose: determining the prognostic value of leukocyte indexes of intoxication and reactivity in fish under the action of some physicochemical stressors.

Materials and methods. The object of the study was the lady of the roach of ordinary *Rutilus Rutilus* (L.). Control and experimental groups were formed taking into account the principle of analogues ($n = 90$). The average mass (PP) is 5.29 ± 1.0 g, length (TL) - 7.22 ± 0.39 cm, fish of the juvenile period of development (the sexual structure was not installed). The individuals were accumulated (10 days) and contained the following indices in aquariums (volume - 200 l.) We examined the core index, a leukocytic index of intoxication, blood leukocyte shear index, and a leukocytal index. As physico-chemical stressors, subcutal concentrations of copper (exposure in copper salt 0.01 mg/l and 0.1 mg/l for 7 and 14 days) were studied; imitation of the main phase and the initial period of the phase of geomagnetic storm; The action of high temperature.

Results. The analysis of leukocyte indexes of intoxication and reactivity showed that in fish the Krebs index and a leukocytic index have the greatest prognostic importance. The information content of the blood leukocyte shear index and the leukocyte intoxication index should be considered controversial. The blood leukocyte shift index increased only with the exposure of copper salts for 14 days and with the action of physical stressors. Statistically significant changes in the blood leukocyte shift index during exposure by copper salts for 7 days have not been revealed, which may indicate a low sensitivity of the index. The results obtained during the calculation of the leukocyte index of intoxication are similar to the results when determining the Krebs index. Specific changes in the index under the action of physico-chemical stressors have not been identified.

Keywords: leukocyte indices; roach; blood; leukocytes; endogenous intoxication; physico-chemical stressors.

Authors:

Karpenko L. — Dr. Habil (Biol. Sci); Professor, e-mail: l.u.karpenko@mail.ru;

Makhnin I. — student; e-mail: ilya.makh@mail.ru;

Berenev Yu. — master; e-mail: yberenev@list.ru;

Bakhta A. — PhD (Biol); e-mail: ab-2003@yandex.ru.

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, 196084, St. Petersburg, st. Chernigovskaya, 5.

References

1. Bakhta A.A. The influence of the subwalp concentration of copper and thermal shock on the leukocyte indicators of the young people ordinary (*Rutilus rutilus* L.) / A. A. Bakhta, Yu. E. Berenev, I. A. Makhnin // Issues of regulatory regulation in Veterinary medicine. — 2021. — № 3. — P. 72-74.
2. Brodsky A.K. Global Ecological Crisis: a view of the problem through the prism of biodiversity / A.K. Brodsky, D.V. Safronova // Interdisciplinary Scientific and Applied Biosphere Journal. — 2017. — Vol. 9. — № 1. — P. 48-70.
3. Golovanov V.K. The effect of high temperature on the indicators of blood in silver crucian carp *Carassius Auratus* and the pink-rotan *perccottus glenii* / V.K. Golovanov [et al.] // Bulletin of the Astrakhan state. Technical University. Series: Fisheries. — 2016. — № 1. — P. 99-106.
4. Zabotkina E. A. Environmental plasticity of hematological indicators of freshwater bony fish / E. A. Zabotkin, T. B. Lapirova, V.E. Serednyakov // Proceedings of the IBVV RAS. — 2015. — № 72 (75). — P. 16-29.
5. Ivanova N.T. Atlas of blood cells of fish: compare. Morphology and classification of blood cells of fish. — M.: LED. and food. Prom, 1983. 80 p.
6. Moiseenko T. I. Morphological restructuring of the body of fish under the influence of pollution (in the light of the theory of S. S. Shvartz) / T. I. Moiseenko // Ecology. — 2002. — № 6. — P. 463-472.

7. Karpenko L. Yu. Features of hematological indicators of trout blood when using Smartbiotic / L. Yu. Karpenko [et al.] // Dychy and fish resources: use and reproduction: Materials of the II All-Russian (National) Scientific and Practical Conference. – 2021. – P. 104-107.
8. Laboratory practice rules: Order of the Ministry of Health and Social Development // Collection of Legislation of the Russian Federation. 2010. N 16. Art. 1815. N 31. Art. 4161.
9. Tkachenko E. A. Leukocyte indexes during experimental cadmium intoxication of mice / E. A. Tkachenko, M. A. Derkho // Izvestia of the Orenburg State Agrarian University. – 2014. – № 3 (47). – 196-199.
10. A device for generating magnetic fields and compensation for a local low frequency magnetic field: Pat.108640. Federation. No. 2011119410/28 / Krylov V.V.; declared. 05/13/2011; publ. 09/20/2011 Bul. N 26.