

СОДЕРЖАНИЕ ИММУННЫХ КОМПЛЕКСОВ И УРОВЕНЬ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРОВИ И ОРГАНАХ ГОЛЬЦОВ оз. КРОНОЦКОЕ (п-ов Камчатка)¹

*И.И. Гордеев**, *Д.В. Микряков***, *Н.И. Силкина***, *В.Р. Микряков***, *О.Ю. Бусарова****

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Москва)

**Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок)

***Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (Приморский край, г. Владивосток)

Исследованы содержание иммунных комплексов и уровень окислительных процессов в сыворотке крови, печени, почке и селезенке у трех видов гольцов из оз. Кроноцкое (п-ов Камчатка) – *Salvelinus albus*, *S. schmidti* и *S. kronocius*, выловленных в июле-августе 2012 года. Интерес к данному озеру обусловлен высокой степенью его экологической изоляции и, как следствие, уникальными процессами видообразования, которые в нем проходили. Установлены межтканевые и межвидовые отличия содержания иммунных комплексов, продуктов перекисного окисления липидов и уровня антиокислительной активности, связанные, предположительно, с видовыми особенностями, образом жизни гольцов и структурно-функциональной организацией исследуемых тканей и органов. Наибольшее содержание иммунных комплексов обнаружено в почке, а наименьшее – в селезенке; в данных органах зафиксированы достоверные межвидовые различия по этому показателю. При исследовании содержания реактивных продуктов тиобарбитуровой кислоты (ТБК) наиболее высокие значения и достоверные отклонения выявлены в почке гольцов, а наиболее низкие значения и незначительные колебания – в сыворотке крови. Межвидовое сравнение выявило максимальные значения содержания ТБК-реактивных продуктов в почке и сыворотке крови у белого гольца, а в селезенке и печени – у длинноголового. Сравнение уровня антиокислительной активности показало высокое содержание антиоксидантов в сыворотке крови и селезенке, минимальное – в почке; наиболее низкие значения данного показателя во всех исследуемых тканях зафиксированы у длинноголового гольца. Полученные результаты могут быть использованы для мониторинга состояния здоровья популяции и сравнения с близкородственными видами.

Ключевые слова: *голец, иммунные комплексы, перекисное окисление липидов, антиокислительная активность, озеро Кроноцкое.*

¹ Авторский коллектив выражает благодарность инспекторам Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника и лично директору Шпиленку Т.И., а также особую благодарность Маркевичу Г.Н. за организацию экспедиции.

Контактное лицо: Гордеев Илья Иванович, *адрес:* 107140, Москва, ул. В. Красносельская, д. 17; *e-mail:* gordeev@vniro.ru

Для цитирования: Гордеев И.И., Микряков Д.В., Силкина Н.И., Микряков В.Р., Бусарова О.Ю. Содержание иммунных комплексов и уровень окислительных процессов в крови и органах гольцов оз. Кроноцкое (п-ов Камчатка) // Arctic Environmental Research. 2017. Т. 17, № 3. С. 204–211. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.204

Озеро Кроноцкое – относительно молодой водоем, геологическая история которого насчитывает примерно 12–14 тыс. лет [1]. Озеро расположено в юго-восточной части п-ова Камчатка и изолировано от заходов проходных рыб системой порогов и водопадов в верхнем течении р. Кроноцкой, что делает его уникальным местом для изучения эволюции изолированных популяций. В водоеме обитают две формы жилой нерки (*Oncorhynchus nerka*) – кокани и представители как минимум трех видов гольцов – белый (*Salvelinus albus* Glubokovsky, 1977), носатый (*S. schmidti* Viktorovsky, 1978) и длинноголовый (*S. kronocius* Viktorovsky, 1978)².

Согласно работе А.Л. Сенчуковой и соавторов [2], гольцы образуют в оз. Кроноцкое сложную популяционную структуру и представляют большой интерес для изучения процессов формообразования и механизмов микроэволюции. Данные генетического анализа свидетельствуют о том, что проходная форма мальмы является предковой по отношению к остальным озерным формам гольцов. При этом авторы делают заключение о том, что наиболее вероятно монофилетическое происхождение всех озерных видов гольцов от небольшой популяции, которая обитала в реке на момент образования озера. Данные виды отличаются друг от друга возрастной структурой, темпом роста и типом питания, а также степенью зараженности их паразитами [2–7]. Наличие в одном озере нескольких близкородственных и, по-видимому, недавно обособившихся видов гольцов делает интересным проведение у них сравнительного анализа различных биологических и иммунофизиологических показателей, отражающих состояние здоровья и адаптацию рыб к биотическим и абиотическим факторам в онто- и филогенезе.

Цель работы – сравнение количественных показателей уровня иммунных комплексов и окислительных процессов в крови и тканях иммунокомпетентных органов носатого, белого и длинноголового гольцов оз. Кроноцкое.

Материалы и методы. Половозрелых рыб отлавливали при помощи донного яруса в период с 27 июля по 15 августа 2012 года в центральной части оз. Кроноцкое и у истока р. Кроноцкой. Обследовали 19 особей носатого (средняя масса (393 ± 23) г, средняя длина (365 ± 9) мм), 16 – белого ((656 ± 79) г, (402 ± 22) мм) и 10 – длинноголового ((1511 ± 123) г, (563 ± 13) мм) гольцов. У отловленных рыб в стерильные пробирки отбирали образцы периферической крови из хвостовой вены и после вскрытия образцы иммунокомпетентных органов (почка, селезенка и печень). Кровь центрифугировали на мини-центрифуге «MiniSpin» («Eppendorf», Германия) для отделения сыворотки, которую далее переносили в чистые пробирки. Затем пробы замораживали и до времени обработки хранили в жидком азоте.

В лабораторных условиях пробирки с пробами размораживали для дальнейших исследований. Из тканей иммунокомпетентных органов готовили гомогенат при помощи гомогенизатора с физиологическим раствором в соотношении 1:1. Отбирали по 1 мл сыворотки крови и чистого гомогената (без осадка) на каждое из дальнейших исследований: содержания иммунных комплексов (ИК) и продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ), уровня антиокислительной защиты (АЗ). Выбор данных показателей обусловлен тем, что они отражают реакцию рыб на заражение паразитами, антропогенное загрязнение и изменение качества среды обитания [8–12].

Содержание ИК устанавливали спектрофотометрически при длине волны 280 нм методом селективной преципитации с 7 %-м полиэтиленгликолем по Ю.А. Гриневич и А.Н. Алферову [13].

Об интенсивности ПОЛ судили по накоплению реактивных продуктов тиобарбитуровой кислоты (ТБК). Их концентрацию определяли спектрофотометрически по интенсивности окрашивания продуктов ПОЛ, реагирующих с ТБК и дающих с ней окрашенный комплекс

²Атлас пресноводных рыб России / под ред. Ю.С. Решетникова. Т. 1. М., 2002. 379 с.

при длине волны 535 нм [14]. Содержание ТБК-реактивных продуктов вычисляли с учетом коэффициента молярной экстинкции ($1,56 \cdot 10^5 \text{ моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$) и выражали в наномолях на 1 г ткани.

Об общей антиокислительной активности судили по кинетике окисления субстрата восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола кислородом воздуха по общепринятой методике [15]. Сущность метода заключается в том, что чем выше скорость окисления субстрата в присутствии биологического материала, тем ниже уровень АЗ в тканях. Константу ингибирования окисления субстрата (КОС) – показатель антиокислительной активности ткани – определяли относительно контроля по формуле: $K_i = (K_{\text{кон}} - K_{\text{оп}}) / C$, где $K_{\text{кон}}$ и $K_{\text{оп}}$ – константы скорости окисления субстрата в контроле и опыте соответственно; C – концентрация биологического материала в кювете.

Статистическую обработку результатов исследования проводили по критерию Вилкоксона–Манна–Уитни ($p = 0,05$). Средние значения показателей и стандартные ошибки ($M \pm m$) рассчитаны в программе «Statistica 10.0».

Результаты и обсуждение. Сравнительный анализ содержания ИК, ТБК-реактивных продуктов и КОС в сыворотке крови, почке, селезенке и печени гольцов, обитающих в оз. Кроноцкое, выявил межтканевые и межвидовые различия (см. таблицу).

У исследуемых видов гольцов наибольшее содержание ИК обнаружено в почке, а наименьшее – в селезенке. В этих органах зафиксированы значимые ($p = 0,05$) межвидовые различия по данному показателю. Иммунные комплексы, состоящие из антигена, антител и связанных с ними компонентов системы комплемента, играют важную роль в процессах регуляции иммунных реакций, элиминации ксенобиотиков из организма и поддержания иммунофизиологического гомеостаза. Рецептор компонентов комплемента CR1 экспрессирован на макрофагах, нейтрофилах и эритроцитах. CR1 эритроцитов через компоненты комплемента C4b и C3b связывает растворимые ИК и доставляет их к макрофагам селезенки и печени, тем самым обеспечивая клиренс крови от ИК. При нарушении этого механизма ИК выпадают в осадок, прежде всего в базальных мембранах

ИММУНОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОЛЬЦОВ оз. КРОНОЦКОЕ ($M \pm m$)

Показатель	Вид гольца	Материал исследования			
		Сыворотка крови	Почка	Селезенка	Печень
ИК, усл. ед.	1) Носатый ($n = 19$)	4,12±0,03	8,23±0,09	3,47±0,01	6,11±0,02
	2) Белый ($n = 16$)	4,07±0,03	7,68±0,25	3,30±0,02 ¹	6,04±0,03
	3) Длинноголовый ($n = 10$)	4,07±0,02	6,61±0,22	3,55±0,30	6,22±0,00
ТБК-реактивные продукты, нмоль/г	1) Носатый ($n = 19$)	5,03±0,08	12,05±0,06	5,34±0,06	8,17±0,02
	2) Белый ($n = 16$)	5,31±0,10 ¹	13,17±0,10 ¹	5,13±0,02 ¹	8,10±0,02
	3) Длинноголовый ($n = 10$)	5,14±0,28	10,65±0,38 ²	5,44±0,39	8,33±0,00
КОС, л/(мл·мин)	1) Носатый ($n = 19$)	2,04±0,02	5,81±0,07	2,23±0,01	4,06±0,02
	2) Белый ($n = 16$)	1,97±0,02	6,02±0,17	2,13±0,01 ¹	3,96±0,02 ¹
	3) Длинноголовый ($n = 10$)	1,91±0,01 ¹	5,54±0,21	2,10±0,01 ¹	3,95±0,00

Примечания: ¹ – значимые отличия от показателей носатого гольца ($U \leq U_{\text{нос}}$), ² – значимые отличия от показателей белого гольца ($U \leq U_{\text{бел}}$).

сосудов клубочков почек, что может приводить к развитию почечной патологии. Содержание ИК наиболее высокое у носатого гольца. Избыток ИК наблюдается при инфекционных, токсических и аутоиммунных болезнях, вызывает супрессию иммунных реакций, что является причиной развития неконтролируемых патологических процессов [16].

Известно, что в каждом биологическом организме существует баланс окислительно-восстановительных процессов, а изменение соотношения уровня ПОЛ и активности АЗ тканей считается одним из чувствительных индикаторов, отражающих влияние неблагоприятных стресс-факторов на метаболические процессы и состояние здоровья рыб. Проведенное исследование показало высокий уровень межтканевых различий липидопереокислительных и антиокислительных процессов, происходящих в организме гольцов оз. Кроноцкое.

При исследовании содержания ТБК-реактивных продуктов наиболее высокие значения и достоверные отклонения выявлены в почке гольцов, а наиболее низкие значения и незначительные колебания – в сыворотке крови. Максимальные значения содержания ТБК-реактивных продуктов отмечены: в почке и сыворотке крови – у белого гольца, в селезенке и печени – у длинноголового. Минимальные значения КОС характерны для сыворотки крови гольцов, а максимальные – для почки. Наиболее низкие значения КОС во всех исследуемых тканях зафиксированы у длинноголового гольца.

Полученные результаты указывают на зависимость происходящих окислительных процессов от особенностей структурно-функциональной организации исследуемых органов и содержания клеток, интенсивно образующих активные формы кислорода (супероксидный и гидроксильный радикалы, синглетный кислород, пероксиды и многие

другие соединения). Избыток активных форм кислорода становится причиной активации ПОЛ и инактивации структур АЗ [17–20]. В почке, богатой гранулоцитами, которые превосходят все другие типы лейкоцитов по способности нарабатывать активные формы кислорода, процессы ПОЛ происходят более интенсивно, чем в периферической крови, печени и селезенке с низкой долей содержания миелобластов, нейтрофилов и промиелоцитов [21–23]. Аналогичные результаты установлены и для других видов рыб [10, 24]. Полученные различия в содержании ТБК-реактивных продуктов и значениях КОС у исследуемых видов гольцов могут быть также обусловлены стрессирующим влиянием паразитов разных систематических групп [4]. Ранее нами установлено, что у зараженных паразитами рыб происходит нарушение баланса в системе «прооксидант–антиоксидант» в сторону активации перекисеобразовательных процессов, интенсивность которых зависит от уровня заражения [25, 26]. Однако для подтверждения нашего предположения необходимо проведение комплексных исследований, включающих изучение зараженности рыб паразитами.

Заключение. Анализ полученных данных показал как сходства, так и отличия в уровнях исследуемых показателей между различными формами гольца из оз. Кроноцкое. Установленные различия, по-видимому, связаны с видовыми и экологическими особенностями рыб: образом жизни, типом питания, зараженностью паразитами и т. д. [4].

Полученные результаты не дают однозначного ответа на изучаемый в некоторых работах [2, 26, 27] вопрос о степени различия рассматриваемых видов (форм) гольцов, но могут быть использованы для мониторинга состояния здоровья популяции и сравнения с близкородственными видами.

Список литературы

1. Шанцер А.Е., Мелекесцев И.В. Особенности древней и новейшей тектоники района Кроноцкого озера, состав и строение слагающих его молодых вулканогенных толщ // Арх. ИВ АН СССР ДВНЦ. 1967. Т. 37. С. 12.
2. Сенчукова А.Л., Павлов С.Д., Мельникова М.Н., Мюге Н.С. Генетическая дифференциация гольцов (род *Salvelinus*) из озера Кроноцкое на основе анализа митохондриальной ДНК // Вопр. ихтиологии. 2012. Т. 52, № 4. С. 489–499.
3. Викторовский Р.М. Механизмы видообразования у гольцов Кроноцкого озера. М., 1978. 106 с.
4. Савваитова К.А. Арктические гольцы (структура популяционных систем, перспективы хозяйственного использования). М., 1989. 223 с.
5. Буторина Т.Е. О фауне паразитов экологически эквивалентных видов и экотипов гольцов водоемов Камчатки // Сиб. экол. журн. 2003. № 3. С. 279–287.
6. Павлов С.Д., Ретин М.Ю., Пивоваров Е.А. Популяционное разнообразие гольцов (род *Salvelinus*) озера Кроноцкое. Морфобиологические особенности // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: материалы IV науч. конф. (18–19 ноября 2003 г.). Петропавловск-Камчатский, 2003. С. 257–261.
7. Буторина Т.Е., Шедько М.Б., Горовая О.Ю. Особенности экологии гольцов рода *Salvelinus* (Salmonidae) бассейна озера Кроноцкое (Камчатка) по паразитологическим данным // Вопр. ихтиологии. 2008. Т. 48, № 5. С. 652–667.
8. Микряков В.Р., Силкина Н.И., Микряков Д.В. Влияние антропогенного загрязнения на иммунологические и биохимические механизмы поддержания гомеостаза у рыб Черного моря // Биология моря. 2011. Т. 37, № 2. С. 142–148.
9. Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А., Лапирова Т.Б., Попов А.В., Силкина Н.И. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М., 2001. 126 с.
10. Силкина Н.И., Микряков В.Р., Микряков Д.В. Особенности липидного обмена леща *Abramis brama*, обитающего в реках Южного Урала // Экология. 2010. № 6. С. 472–474.
11. Силкина Н.И., Микряков В.Р., Микряков Д.В. Характер изменения некоторых иммунофизиологических показателей зараженных плероцеркоидами *Ligula intestinalis* лещей *Abramis brama* на разных стадиях развития паразита // Изв. РАН. Сер. биологическая. 2012. № 5. С. 567–571.
12. Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R., Rudneva I.I. Effect of Anthropogenic Pollution on Immune Status and Oxidative Stress Parameters in Liver of the Scorpion Fish *Scorpaena porcus*, Inhabiting Coastal Waters of the Black Sea // Hydrobiological Journal. 2014. Vol. 50, № 4. P. 86–92.
13. Гриневич Ю.А., Алферов А.Н. Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных // Лаб. дело. 1981. № 8. С. 493–496.
14. Андреева Л.И., Кожемякин Л.А., Кишкун А.А. Модификация метода определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой // Лаб. дело. 1988. № 11. С. 41–43.
15. Семенов В.Л., Ярош А.М. Метод определения антиокислительной активности биологического материала // Укр. биохим. журн. 1985. Т. 57, № 3. С. 50–52.
16. Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д. Иммунология. М., 2000. 592 с.
17. Грубинко В.В., Леус Ю.В., Арсан О.М. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у рыб (обзор) // Гидробиол. журн. 2001. Т. 37, № 1. С. 64–78.
18. Меньщикова Е.Б., Зенков Н.К., Ланкин В.З., Бондарь И.А., Труфакин В.А. Окислительный стресс: патологические состояния и заболевания. Новосибирск, 2008. 284 с.
19. Winston G.W. Oxidants and Antioxidants in Aquatic Animals // Comparative Biochemistry and Physiology. 1991. Vol. 100, № 1–2. P. 173–176.
20. Rudneva I.I., Kuz'minova N.S. Effect of Chronic Pollution on Hepatic Antioxidant System of Black Sea Fish Species // International Journal of Science and Nature. 2011. Vol. 2, iss. 2. P. 279–286.
21. Грушко М.П., Ложниченко О.В., Федорова Н.Н. Гемопоз у осетровых рыб. Астрахань, 2009. 190 с.
22. Zapata A.G., Chiba A., Varas A. Cells and Tissues of the Immune System of Fish // The Fish Immune System. Pathogen and Environment / Ed by G. Iwama, T. Nakanishi. London: Academic Press, 1996. P. 1–62.
23. Muiswinkel W.B. van, Vervoorn-Van Der Wal B. The Immune System of Fish // Fish Diseases and Disorders. Vol. 1. Protozoan and Metazoan Infections / Ed. by P.T.K. Woo. Canada: University of Guelph, 2006. P. 678–701.

24. Микряков Д.В., Микряков В.Р., Силкина Н.И. Влияние дексаметазона на окислительные процессы в иммунокомпетентных органах стерляди *Acipenser ruthenus* // Биология внутр. вод. 2014. № 4. С. 86–90.

25. Силкина Н.И., Микряков В.Р. Особенности показателей перекисного окисления липидов у *Ligula intestinalis* (Cestoda: Pseudophyllidea) и их хозяев – *Abramis brama* (L.) // Паразитология. 2005. Т. 39, вып. 2. С. 117–123.

26. Pavlov S.D., Kuzishchin K.V., Gruzdeva M.A., Senchukova A.L., Pivovarov E.A. Phenetic Diversity and Spatial Structure of Chars (*Salvelinus*) of Kronotskaya Lake-River System (Eastern Kamchatka) // Journal of Ichthyology. 2013. Vol. 53, № 6. P. 645–670.

27. Senchukova A.L., Mugue N.S., Pavlov S.D., Mel'nikova M.N. On the Origin of Chars of the Genus *Salvelinus* of the Kronotskoe Lake and Their Relationships with Other Chars Populations of the Kamchatka Peninsula // Journal of Ichthyology. 2013. Vol. 53, № 6. P. 840–848.

References

1. Shantser A.E., Melekestsev I.V. Osobennosti drevney i noveyshey tektoniki rayona Kronotskogo ozera, sostav i stroenie slagayushchikh ego molodykh vulkanogennykh tolshch [Features of Ancient and Modern Tectonics of the Kronotskoe Lake Region, Composition and Structure of Its Young Volcanogenic Strata]. *Arkhiv Dal'nevostochnogo nauchnogo tsentra Akademii Nauk SSSR* [Archive of the Far Eastern Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR], 1967, vol. 37. 12 p.

2. Senchukova A.L., Pavlov S.D., Mel'nikova M.N., Myuge N.S. Geneticheskaya differentsiatsiya gol'tsov (rod *Salvelinus*) iz ozera Kronotskoe na osnove analiza mitokhondrial'noy DNK [Genetic Differentiation of Chars (Genus *Salvelinus*) from the Kronotskoe Lake on the Basis of the Analysis of Mitochondrial DNA]. *Voprosy ikhtiologii* [Journal of Ichthyology], 2012, vol. 52, no. 4, pp. 489–499.

3. Viktorovskiy P.M. *Mekhanizmy vidoobrazovaniya u gol'tsov Kronotskogo ozera* [Mechanisms of Chars Speciation of the Kronotskoe Lake]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 106 p. (In Russ.)

4. Savvaitova K.A. *Arkticheskie gol'tsy (struktura populyatsionnykh sistem, perspektivy khozyaystvennogo ispol'zovaniya)* [Arctic Chars (Structure of Population Systems, Prospects of Economic Use)]. Moscow, Agropromizdat, 1989. 233 p. (In Russ.)

5. Butorina T.E. O faune parazitov ekologicheskii ekvivalentnykh vidov i ekotipov gol'tsov vodoemov Kamchatki [Parasite Fauna of Ecologically Equivalent Species and Ecotypes of Alpine Chars in Water Bodies of Kamchatka]. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2003, vol. 10, no. 3, pp. 279–287.

6. Pavlov S.D., Repin M.Yu., Pivovarov E.A. Populyatsionnoe raznoobrazie gol'tsov (rod *Salvelinus*) ozera Kronotskoe. Morfobiologicheskie osobennosti [Population Diversity of Chars (Genus *Salvelinus*) of the Kronotskoe Lake. Morphobiological Features]. *Sokhranenie bioraznoobraziya Kamchatki i prilgayushchikh morey: materialy IV nauch. konf. (18–19 noyabrya 2003 g.)* [Conservation of Kamchatka and Adjacent Seas Biodiversity: Proc. 4th Sci. Conf. (18–19 November 2003)]. Petropavlovsk-Kamchatsky, KamchatNIRO Publ., 2003, pp. 257–261. (In Russ.)

7. Butorina T.E., Shed'ko M.B., Gorovaya O.Yu. Osobennosti ekologii gol'tsov roda *Salvelinus* (Salmonidae) basseyna ozera Kronotskoe (Kamchatka) po parazitologicheskim dannym [Specific Features of Chars Ecology of the Genus *Salvelinus* (Salmonidae) in the Kronotskoe Lake Basin (Kamchatka) According to Parasitological Data]. *Voprosy ikhtiologii* [Journal of Ichthyology], 2008, vol. 48, no. 5, pp. 652–667.

8. Mikryakov V.R., Silkina N.I., Mikryakov D.V. Vliyanie antropogennoho zagryazneniya na immunologicheskie i biokhimicheskie mekhanizmy podderzhaniya gomeostaza u ryb Chernogo morya [Effect of Anthropogenic Pollution on the Immunological and Biochemical Mechanisms of Maintaining Homeostasis in Fish of the Black Sea]. *Biologiya morya* [Russian Journal of Marine Biology], 2011, vol. 37, no. 2, pp. 151–157.

9. Mikryakov V.R., Balabanova L.V., Zobotkina E.A., Lapirova T.B., Popov A.V., Silkina N.I. *Reaksiya immunnoy sistemy ryb na zagryaznenie vody toksikantami i zakislenie sredy* [The Response of the Fish Immune System to Water Pollution by Toxicants and Acidification of the Environment]. Moscow, Nauka Publ., 2001. 126 p. (In Russ.)

10. Silkina N.I., Mikryakov V.R., Mikryakov D.V. Osobennosti lipidnogo obmena leshcha *Abramis brama*, obitayushchego v rekakh Yuzhnogo Urala [Characteristics of Lipid Metabolism in Bream, *Abramis brama*, from Southern Ural Rivers]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2010, no. 6, pp. 472–474.

11. Silkina N.I., Mikryakov V.R., Mikryakov D.V. Kharakter izmeneniya nekotorykh immunofiziologicheskikh pokazateley zarazhennykh plerotserkoidami *Ligula intestinalis* leshchey *Abramis brama* na raznykh stadiyakh razvitiya parazita [The Nature of Changes of Some Immunophysiological Characteristics in Bream (*Abramis brama*) Infected with Plerocercoids (*Ligula intestinalis*) at Various Stages of Parasite Development]. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya* [Biology Bulletin], 2012, vol. 39, no. 5, pp. 485–489.
12. Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R., Rudneva I.I. Effect of Anthropogenic Pollution on Immune Status and Oxidative Stress Parameters in Liver of the Scorpion Fish *Scorpaena porcus*, Inhabiting Coastal Waters of the Black Sea. *Hydrobiological Journal*, 2014, vol. 50, no. 4, pp. 86–96.
13. Grinevich Yu.A., Alferov A.N. Opređenje immunnykh kompleksov v krovi onkologicheskikh bol'nykh [Determination of Immune Complexes in the Blood of Cancer Patients]. *Laboratornoe delo*, 1981, vol. 8, pp. 493–496.
14. Andreeva L.I., Kozhemyakin L.A., Kishkun A.A. Modifikatsiya metoda opredeleniya perekisey lipidov v teste s tiobarbiturovoy kislotoy [Modification of the Determining Method of Lipid Peroxidation in a Test with Thiobarbituric Acid]. *Laboratornoe delo*, 1988, vol. 11, pp. 41–43.
15. Semenov V.L., Yarosh A.M. Metod opredeleniya antiokislitel'noy aktivnosti biologicheskogo materiala [A Method for Determining the Antioxidant Activity of Biological Material]. *Ukrainskiy biokhimicheskiy zhurnal* [The Ukrainian Biochemical Journal], 1985, vol. 57, no. 3, pp. 50–52.
16. Male D., Brostoff J., Roth D., Roitt I. *Immunology*. Canada, Elsevier, 2013. 590 p.
17. Grubinko V.V., Leus Yu.V., Arsan O.M. Perekisnoe okislenie lipidov i antioksidantnaya zashchita u ryb (obzor) [Lipid Peroxidation and Antioxidant Defense in Fish (Review)]. *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Hydrobiological Journal], 2001, vol. 37, no. 1, pp. 64–78.
18. Men'shchikova E.B., Zenkov N.K., Lankin V.Z., Bondar' I.A., Trufakin V.A. *Okislitel'nyy stress: patologicheskie sostoyaniya i zabolvaniya* [Oxidation Stress: Pathological States and Diseases]. Novosibirsk, ARTA Publ., 2008. 284 p. (In Russ.)
19. Winston G.W. Oxidants and Antioxidants in Aquatic Animals. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1991, vol. 100, no. 1-2, pp. 173–176.
20. Rudneva I.I., Kuz'minova N.S. Effect of Chronic Pollution on Hepatic Antioxidant System of Black Sea Fish Species. *International Journal of Science and Nature*, 2011, vol. 2, iss. 2, pp. 279–286.
21. Grushko M.P., Lozhnichenko O.V., Fedorova N.N. *Gemopoez u osetrovyykh ryb* [Hemopoiesis in Sturgeons]. Astrakhan, Triada Publ., 2009. 190 p. (In Russ.)
22. Zapata A.G., Chiba A., Varas A. Cells and Tissues of the Immune System of Fish. *The Fish Immune System. Pathogen and Environment*. Ed. by G. Iwama, T. Nakanishi. London, Academic Press, 1996, pp. 1–62.
23. Muiswinkel W.B. van, Vervoorn-Van Der Wal B. The Immune System of Fish. *Fish Diseases and Disorders. Vol. 1: Protozoan and Metazoan Infections*. Ed. by P.T.K. Woo. Canada, University of Guelph, 2006, pp. 678–701.
24. Mikryakov D.V., Mikryakov V.R., Silkina N.I. Vliyanie deksametazona na okislitelnyye protsessy v immunokompetentnykh organakh sterlyadi *Acipenser ruthenus* [Effect of Dexamethasone on Oxidative Processes in the Immunocompetent Organs of Sterlet *Acipenser ruthenus* L.]. *Biologiya vnutrennikh vod* [Inland Water Biology], 2014, vol. 7, no. 4, pp. 397–400.
25. Silkina N.I., Mikryakov V.R. Osobennosti pokazateley perekisnogo okisleniya lipidov u *Ligula intestinalis* (Cestoda: Pseudophyllidea) i ikh khozyaev – *Abramis brama* (L.) [Peculiarities of Lipid Peroxidation Indices in *Ligula intestinalis* (Cestoda: Pseudophyllidea) and Its Host – *Abramis brama* (L.)]. *Parazitologiya*, 2005, vol. 39, no. 2, pp. 117–123.
26. Pavlov S.D., Kuzishchin K.V., Gruzdeva M.A., Senchukova A.L., Pivovarov E.A. Phenetic Diversity and Spatial Structure of Chars (*Salvelinus*) of Kronotskaya Lake-River System (Eastern Kamchatka). *Voprosy ikhtiologii* [Journal of Ichthyology], 2013, vol. 53, no. 6, pp. 645–670.
27. Senchukova A.L., Mugue N.S., Pavlov S.D., Mel'nikova M.N. On the Origin of Chars of the Genus *Salvelinus* of the Kronotskoe Lake and Their Relationships with Other Chars Populations of the Kamchatka Peninsula. *Voprosy ikhtiologii* [Journal of Ichthyology], 2013, vol. 53, no. 6, pp. 840–848.

DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.204

Il'ya I. Gordeev**, *Daniil V. Mikryakov, *Nina I. Silkina***,
*Veniamin R. Mikryakov***, *Olesya Yu. Busarova******

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography
(Moscow, Russian Federation)

**I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences
(Borok, Yaroslavl Region, Russian Federation)

***Far Eastern State Technical Fisheries University
(Vladivostok, Russian Federation)

CONTENT OF IMMUNE COMPLEXES AND THE LEVEL OF OXIDATIVE PROCESSES IN BLOOD AND ORGANS OF CHARS IN THE KRONOTSKOE LAKE (Kamchatka Peninsula)

The paper investigates the content of immune complexes and the level of oxidation processes in blood serum, liver, kidney and spleen for three species of char – *Salvelinus albus*, *S. schmidtii* and *S. kronocius* caught in the Kronotsky Lake (Kamchatka peninsula) in July-August 2012. Interest in this lake is due to a high degree of its ecological isolation and as a consequence, the processes of speciation. We found intertissue and interspecies differences in the content of immune complexes, products of lipid peroxidation and the antioxidant activity level. Presumably, they are associated with species features, way of life and structural and functional organization of studied tissues and organs. The greatest content of immune complexes was found in kidney, and the smallest – in spleen. Reliable interspecies differences in this indicator were recorded in these organs. When studying the content of reactive products of thiobarbituric acid (TBA) the authors marked the highest values and significant deviations in kidney of char, and the lowest values and slight fluctuations – in blood serum. Interspecies comparison revealed the maximum values of TBA-reactive products in kidney and blood serum of *S. albus*, and in spleen and liver – in *S. kronocius*. The level comparison of antioxidant activity demonstrated a high content of antioxidants in blood serum and spleen, the minimum – in kidney. The lowest values of this index in all studied tissues were recorded in *S. kronocius*. The obtained results can be used to monitor the health status of the population and compare with closely related species.

Keywords: *char, immune complex, lipid peroxidation, antioxidant activity, Kronotskoe Lake.*

Поступила 25.04.2017
Received on April 25, 2017

Corresponding author: Il'ya Gordeev, *address:* ul. Verkhnyaya Krasnosel'skaya, 17, Moscow, 107140, Russian Federation; *e-mail:* gordeev@vniro.ru

For citation: Gordeev I.I., Mikryakov D.V., Silkina N.I., Mikryakov V.R., Busarova O.Yu. Content of Immune Complexes and the Level of Oxidative Processes in Blood and Organs of Chars in the Kronotskoe Lake (Kamchatka Peninsula). *Arctic Environmental Research*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 204–211. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.204