

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТОКСИКОЛОГИЯ

УДК 597: 546.55/.59

## НЕКОТОРЫЕ ИММУНОБИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗОЛОТОГО КАРАСЯ *CARASSIUS CARASSIUS* ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СУБЛЕТАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ МЕДИ

*Д.В. Микряков,  
Н.И. Силкина,  
В.Р. Микряков*

ФГБУН Институт биологии  
внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН,  
152742, Ярославская обл.,  
Некоузский р-он., п. Борок,  
Российская Федерация,

Представлены результаты изучения некоторых иммунобиохимических показателей золотого карася при хроническом воздействии низких концентраций меди. В сыворотке крови исследованы антимикробные свойства и доля иммунодефицитных особей, в печени – содержание неспецифических иммунных комплексов, уровень общих липидов, содержание продуктов перекисного окисления липидов и антиоксидантная активность. Показана зависимость величин исследуемых показателей от времени пребывания рыб в условиях эксперимента.

**Ключевые слова:** рыба, ионы меди, гуморальный иммунитет, липиды, прооксидантно-антиоксидантная система.

**Введение.** В результате интенсивно-антропогенного загрязнения содержание многих тяжелых металлов (ТМ) в воде и гидробионтах повышается. Избыточное поступление высоких концентраций ТМ оказывает токсическое действие на организм рыб, нарушая физиолого-биохимический и иммунологический статус [1-5].

Медь – один из широко распространенных и токсичных для гидробионтов элементов группы ТМ [6,7]. Обычные фоновые уровни не превышают 0,001-0,02 мг/л, ПДК для рыбохозяйственных водоемов – 0,001 мг/л. Основное загрязнение медью – антропогенного происхождения. Медь, легко образуя комплексы с неорганическими веществами и адсорбируясь на взвешях, редко встречается в виде свободного иона. Токсичность меди возрастает при снижении жесткости

воды, температуры, содержания кислорода в воде и уменьшается при появлении гуминовых кислот, аминокислот и взвешенных веществ. Негативное влияние высоких концентраций этого элемента на организм рыб выражается нарушениями метаболических процессов, изменением проницаемости клеточных мембран, ингибированием окислительного фосфорилирования и синтеза нуклеиновых кислот и белков и др. В то же время, медь относится к эссенциальным т.е. жизненно необходимым для животных незаменимым микроэлементам и участвует в обмене веществ, окислительно-восстановительных процессах, синтезе гемоглобина, иммунобиологической устойчивости, повышении адаптивных функций и сопротивляемости организма к вредным воздействиям факторов внешней среды [3,5-8].

**Микряков Даниил Вениаминович (Mikryakov Daniil Veniaminovich)**, к.б.н., зав. лаборатории иммунологии Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-он., п. Борок, Российская Федерация, danii@ibiw.yaroslavl.ru  
**Силкина Нина Иосифовна (Silkina Nina Iosifovna)**, к.б.н., с.н.с. лаборатории иммунологии Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-он., п. Борок, Российская Федерация, sni@ibiw.yaroslavl.ru  
**Микряков Вениамин Романович (Mikryakov Veniamin Romanovich)**, проф., д.б.н., гл.н.с. лаборатории иммунологии Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-он., п. Борок, Российская Федерация, mvr@ibiw.yaroslavl.ru

Ранее нами показано негативное воздействие меди на организм сеголетков карпа: при длительном пребывании в растворах меди замедлялся прирост, изменялись иммунологические и физиолого-биохимические показатели [9,10]. Об иммунобиохимическом

статусе других видов рыб при длительном пребывании в воде, содержащей медь в низких концентрациях, известно мало.

*Цель работы* – изучение хронического воздействия меди в низких концентрациях на состояние врожденного иммунитета

Таблица

**Иммунобиохимические показатели карася**

| Сут   | Показатели                                       | Условия экспозиции |                  |
|---|--|--------------------|------------------|
|   |  | Контроль           | Cu <sup>2+</sup> |
| 1   | Бактерицидная активность сыворотки крови, %      | 13.7±1.4           | 13.9±0.9         |
|   | % иммунодефицитных особей                        | 0                  | 0                |
|   | Уровень иммунных комплексов, у.е.                | 9.69±1.1           | 9.67±1.2         |
|   | Содержание общих липидов, мг%                    | 2255±40            | 2265±45          |
|   | Содержание малонового диальдегида, Нмоль/г ткани | 6.39±1.4           | 6.40±1.2         |
| Константа окисления субстрата, л х мл-1 х мин-1 | 4.01±1.3   | 4.04±1.0           |                  |
| 7   | Бактерицидная активность сыворотки крови, %      | 12.5±1.6           | 21.4±3.1*        |
|   | % иммунодефицитных особей                        | 0                  | 0                |
|   | Уровень иммунных комплексов, у.е.                | 10.33±1.2          | 33.27±2.9*       |
|   | Содержание общих липидов, мг%                    | 2265±45            | 2275±35          |
|   | Содержание малонового диальдегида, Нмоль/г ткани | 6.55±1.2           | 13.28 ±2.1*      |
| Константа окисления субстрата, л х мл-1 х мин-1 | 4.03±1.1   | 5.94±1.1*          |                  |
| 14  | Бактерицидная активность сыворотки крови, %      | 14.3±2.0           | 3.5±3.0*         |
|   | % иммунодефицитных особей                        | 0                  | 20               |
|   | Уровень иммунных комплексов, у.е.                | 10.57±1.7          | 27.18±2.3*       |
|   | Содержание общих липидов, мг%                    | 2250±55            | 2285±40*         |
|   | Содержание малонового диальдегида, Нмоль/г ткани | 6.62±1.4           | 18.74±1.6*       |
| Константа окисления субстрата, л х мл-1 х мин-1 | 4.01±1.5   | 13.21±2.0*         |                  |
| 30  | Бактерицидная активность сыворотки крови, %      | 12.1±1.5           | 4.5±1.1*         |
|   | % иммунодефицитных особей                        | 0                  | 30               |
|   | Уровень иммунных комплексов, у.е..               | 11.34±1.7          | 39.21±7.5        |
|   | Содержание общих липидов, мг%                    | 2255±40            | 22950±55*        |
|   | Содержание малонового диальдегида, Нмоль/г ткани | 7.04±1.5           | 17.9±1.6*        |
| Константа окисления субстрата, л х мл-1 х мин-1 | 4.13±1.5   | 16.71±1.9*         |                  |
| 75  | Бактерицидная активность сыворотки крови, %      | 10.5±1.7           | 8.5±1.3*         |
|   | % иммунодефицитных особей                        | 0                  | 30               |
|   | Уровень иммунных комплексов, у.е.                | 11.93±2.0          | 15.07±2.2*       |
|   | Содержание общих липидов, мг%                    | 2265±45            | 2260±55          |
|   | Содержание малонового диальдегида, Нмоль/г ткани | 7.41±1.9           | 10.22±2.0*       |
| Константа окисления субстрата, л х мл-1 х мин-1 | 4.22±1.9   | 6.35±2.5*          |                  |

Примечание:.\* – достоверно относительно контроля при P≤0.01.

и прооксидантно-оксидантный статус золотого карася.

**Материал и методы исследования.** Работа выполнена на сеголетках золотого карася *Carassius carassius* средней массой 60-67 г и длиной 17-18 см. В опыте использовали природную воду из р. Сунога. В эксперименте средняя температура воды составляла 17-19°C, содержание кислорода 4-5 мг/л, рН 7.2-7.4. Рыб содержали в плексиглазовых аквариумах объемом 150 л и ежедневно кормили сухим гранулированным кормом. Опытных карасей выдерживали в растворе сульфата меди ( $\text{CuSO}_4$ ), а контрольных – в чистой воде. Воду меняли ежедневно, каждый раз добавляя свежий раствор токсиканта, который готовили непосредственно перед добавлением в аквариум. Конечная концентрация по действующему веществу – иону  $\text{Cu}^{2+}$  составляла 0,025 мг/л, что соответствовало  $1/50$  от установленной 96 ч  $\text{LC}_{50}$ . После 30 дней экспозиции с токсикантом опытных рыб помещали в чистую воду на 45 сут («отмывка»). Отбор проб осуществляли от 10 особей в контрольной и опытной группе на 1, 7, 14, 30 и 75 сут от начала опыта.

В сыворотке крови определяли бактериостатическую активность (БАСК), долю иммунодефицитных особей (ИМД), содержание неспецифических иммунных комплексов (ИК); в тканях печени – количество общих липидов (ОЛ), интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) и уровень антиокислительной защиты (АЗ).

БАСК выявляли нефелометрическим методом в модификации В.Р. Микрякова [11]. В качестве тест-микробов использовали суточную культуру *Aeromonas hydrophila*. В зависимости от уровня БАСК отбирали иммунодефицитных рыб (ИМД), сыворотка крови которых не угнетала развитие тест-микробов. Неспецифические иммунные комплексы (ИК) изучали методом селективной преципитации 7% полиэтиленгликолем молекулярной массы 6000 спектрофотометрически при длине волны 280 нм по методу Ю.А.Гриневиц и А.Н.Алферова [12]. Липиды из тканей печени экстрагировали и определяли стандартным методом по Фолчу [13]. Об уровне ПОЛ судили по накоплению малонового диальдегида (МДА) – одного из конечных продуктов перекисного окисления [14]. Интенсивность процессов АЗ устанавливали интегральным методом В.Л.Семенова и А.М.Ярош [15] по кинетике окисления восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола кислородом воздуха в присутствии и отсутствии тка-

невых экстрактов (КОС). Сущность метода заключается в том, что чем выше скорость окисления субстрата в присутствии биологического материала, тем ниже содержание антиоксидантов в тканях. Статистическую обработку результатов исследования проводили по стандартным алгоритмам, реализованным в пакете программ (Statistica) с использованием t-теста ( $p < 0,05$ ).

**Результаты и обсуждение.** Анализ результатов свидетельствует, что за период эксперимента зафиксирована 100%-ная выживаемость, поведение рыб не изменилось, патологий внутренних органов не выявлено.

Показатель БАСК, служащий интегрированным выражением противомикробных свойств гуморального звена неспецифического иммунитета: лизоцима, комплемента, пропердина, протеаз, С-реактивного белка, агглютининов, преципитинов и т.д., у опытных рыб на 7 сут повышался, а на 14 и 30 сут снижался по сравнению с контролем (табл.). После пересадки рыб в чистую воду зафиксировано нарастание уровня БАСК. Начиная с 14 сут, в опытной группе рыб появились ИМД особи.

Во все сроки наблюдения уровень ИК печени у опытных карасей превышал контрольные значения. ИК – комплексы, состоящие из антиген-антител и связанных с ними компонентов системы комплемента выполняют важную роль в процессах регуляции иммунных реакций, элиминации ксенобиотиков из организма и поддержании иммунофизиологического гомеостаза. При насыщении организма чужеродными телами, в том числе аутоантигенами и инфекционными агентами, происходит избыточное образование ИК вследствие снижения клиринговой функции клеток фагоцитарной системы. Повышенный уровень ИК является фактором, вызывающим супрессию механизмов иммунного гомеостаза [16-18]. По-видимому, повышенные показатели ИК у опытных рыб – одна из причин снижения БАСК и появления ИМД особей. Низкий уровень БАСК, высокая доля ИМД особей и нарастание количества ИК у опытных рыб свидетельствуют об иммуносупрессивном действии токсиканта на механизмы врожденного гуморального иммунитета.

Уровень липидов печени при содержании в растворе меди также отличался от контроля: на 14 и 30 сут содержание ОЛ было повышенным, затем, при переводе в чистую воду, – снизилось до нормы. Повышенная концентрация липидов вследствие их важной роли в адаптивных процессах, характер-

на для рыб, обитающих при высокой антропогенной нагрузке [19,20].

Содержание МДА у опытных рыб было достоверно выше контрольных показателей, начиная с 7 сут эксперимента. Повышенный уровень МДА свидетельствует об активации процессов ПОЛ и указывает на раннее проявление негативного токсического влияния меди на организм рыб и процессы окислительного стресса. Причина интенсификации ПОЛ – увеличение активных форм кислорода (супероксидный и гидроксильный радикалы, синглетный кислород, пероксиды и многие другие соединения) и снижение количества антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, глутатион-S-трансферазы) и низкомолекулярных антиоксидантных соединений (восстановленный глутатион, б-токоферол, фенольная форма коэнзима Q<sub>10</sub>, б-каротин, аскорбиновая кислота и др.). На дефицит антиоксидантов у опытных карасей указывают повышенные показатели КОС. Высокий уровень содержания конечных продуктов ПОЛ и скорость КОС отражают дисбаланс в прооксидантно-антиоксидантной системе и служат причиной смещения равновесия ПОЛ ↔ АЗ в сторону интенсификации неконтролируемых процессов ПОЛ.

Изменение соотношения между ПОЛ и активностью процессов АЗ тканей считается одним из чувствительных индикаторов, отражающих влияние неблагоприятных стресс-факторов на метаболические процессы и состояние здоровья рыб. Важный механизм регуляции метаболических про-

цессов в любом организме – динамическое равновесие окислительно-восстановительных процессов, обеспечиваемое прооксидант-антиоксидантной системой [21]. Сдвиг баланса системы ПОЛ ↔ АЗ в организме опытных рыб в сторону интенсификации процессов ПОЛ приводит к окислительному стрессу. При оптимальных условиях соотношение этих систем жизнеобеспечения поддерживается на стационарном минимальном уровне [22-24]. При действии негативных стресс-факторов происходит активация процессов окислительного стресса, которая связана с избыточным накоплением АФК и снижением активности ферментных и неферментных антиоксидантов. Аналогичные нарушения выявлены у гидробионтов в районах с повышенной антропогенной нагрузкой [24-29].

**Заключение.** Хроническое воздействие низких концентраций меди вызывает супрессию антибиотической функции гуморального иммунитета и АЗ и повышение содержания ИК, ОЛ и продуктов ПОЛ в организме золотого карася. Помещение опытных рыб после 30-ой экспозиции с токсикантом в чистую воду для «отмывки» привело лишь к частичному восстановлению иммунобиохимического статуса рыб.

Установленные модификации в функционировании иммунобиохимических механизмов гомеостаза опытных рыб следует рассматривать как типичную реакцию рыб на загрязняющие вещества. Выявленные отличия в уровнях исследуемых показателей могут служить основой при разработке биотестов для оценки состояния здоровья рыб и качества воды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Будников К.Г. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем. Соросовский образоват. журн. Биология. 1998; 7 (5): 23 – 29.
- Перевозников М.А., Богданова Е.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. С-Петербург: Наука; 1999.
- Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины, макро- и микроэлементы. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2008.
- Bury N.R., Walker P.A., Glover C.N. Nutritive metal uptake in teleost fish. Journal of Experimental Biology. 2003; 206: 11 – 23.
- Moseley R., Hilton J.R. Waddington, R.J., Harding, K.G., Stephens, P. Thomas D.W. Comparison of oxidative stress biomarker profiles between acute and chronic wound environments. Wound Repair Regen. 2004; 12 (4): 419-429.
- Romeo M., Bennani N., Gnassia-Barelli M., Lafaurie M., Girard J.P. Cadmium and copper display different responses to wards oxidative stress in the kidney of the sea bass *Dicentrarchus labrax*. Aqual. Toxicol. 2000; 48 (2-3): 185 – 194.
- Kamunde C., Grosell M., Higgs D., Wood C.M. Copper metabolism in actively growing rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) interactions between dietary and waterborne copper uptake. J. Experim. Biol. 2002; 205: 279 – 290.
- Леус Ю.В., Арсан В.О., Грубинко В.В. Прооксидантно-антиоксидантный статус организма карпа при действии ионов меди, марганца, свинца и цинка. ДАН. Украины. 1998; (7): 155 – 159.
- Силкина Н.И., Микряков Д.В., Микряков В.Р. Влияние низких концентраций ионов меди на иммуно-биохимические показатели молоди карпа *Syrphius carpio*. Токсикологический вестник. 2009; (6): 13 – 16.
- Силкина Н.И., Микряков В.Р., Микряков Д.В. Влияние сублетальных концентраций ионов меди на показатели роста молоди карпа. Рыбоводство и рыб. х-во. 2011; (1): 61 – 64.
- Микряков В.Р. Закономерности формирования приобретенного иммунитета у рыб. Рыбинск: ИБВВ РАН; 1991.
- Гриневич Ю.А., Алферов А.Н. Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных. Лаб. дело. 1981; (8): 493 – 496.
- Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animals tissues. J. Biol. Chem. 1957; 2(3): 497 – 509.
- Андреева Л.И., Кожемякин Н.А., Кишкун А.А. Модификация методов определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой. Лаб. дело. 1988; 11: 41 – 43.
- Семенов В.Л., Ярош А.М. Метод определения антиокислительной активности биологического материала. Укр. биохим. журн. 1985; 57(3): 50-52.
- Логинов С.И., Смирнов П.Н., Трунов А.Н. Иммунные комплексы у животных и человека: норма и патология. Новосибирск: Сиб. Отд-ние. ИЭВС и ДВ РАСХН; 1990.
- Ройт А., Бростовф Дж., Мейл Д. Иммунология. М.: Мир; 2000.
- Койко Р., Саншайн Д. Бенджамини Э. Иммунология: учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия»; 2008.
- Шатуновский М.И. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука; 1980.
- Гершанович А.Д., Лапин В.И., Шатуновский М.И. Особенности обмена липидов у рыб. Успехи современной биологии. 1991; 3 (2): 207 – 219.
- Барабой В.А., Брехман И.И., Голотин В.Г. Кудряшов Ю.Б. Перекисное окисление и стресс. СПб.: Наука; 1992.
- Меньшикова Е.Б., Зенков Н.К., Ланкин В.З., Бондарь И.А., Труфанин В.А. Окислительный стресс: патологические состояния и заболевания.

Новосибирск: АПА. 20284 с.

23. *Fiho W.D.* Fish antioxidant defences – A comparative approach. *Braz. J. Med. and Biol. Res.* 1996; 29 (12): 1735 – 1742.
24. *Winston G.W.* Oxidants and antioxidants in aquatic animals. *Comp. Biochem. and Physiol.* 1991; 100 (1-2): 173 – 176.
25. *Микряков В.Р., Силкина Н.И.,*

*Микряков Д.В.* Влияние антропогенного загрязнения на иммунологические и биохимические механизмы поддержания гомеостаза у рыб Черного моря. *Бiol. моря.* 2011; 37 (2): 142 – 148.

26. *Силкина Н.И., Микряков Д.В., Микряков В.Р.* Влияние антропогенного загрязнения на окислительные процессы в печени рыб Рыбинского

водохранилища. *Экология.* 2012; (5): 361 – 365.

27. *Силкина Н.И., Микряков Д.В., Микряков В.Р.* Некоторые иммунобиохимические показатели леща *Abramis brama*, обитающего в реке Кубань. *Экология.* 2013; (4): 296 – 299.

28. *Kuzminova N., Rudneva I., Salekhova L. Salekhova L., Shevchenko N., Oven L.* State of Black Scorpion fish

(*Scorpaena porcus L.*, 1758) inhabited coastal area of Sevastopol region (Black Sea) in 1998–20Turkish *J. Fish. Aquat. Sci.* 2011; (11): 101 – 111.

29. *Rudneva I.I., Kuzminova N.S.* Effect of chronic pollution on hepatic antioxidant system of Black Sea fish species. *Int. J. Sci. Nature.* 2011; 2 (2): 279 – 286.

## REFERENCES:

1. *Budnikov G.K.* Heavy metals in environmental monitoring of aquatic systems. *Soros educational journal Biology.* 1998; 7 (5): 23 – (in Russian)
2. *Perevoznikov M.A., Bogdanova E.A.* Heavy metals in freshwater ecosystems. St. Petersburg: Nauka; 19(in Russian)
3. *Rebrov V.G., Gromova O.A.* Vitamins, macro – and micronutrients. Moscow: GEOTAR\_Media; 20(in Russian)
4. *Bury N.R., Walker P.A., Glover C.N.* Nutritive metal uptake in teleost fish. *Journal of Experimental Biology.* 2003; 206: 11 – 23.
5. *Moseley R., Hilton J.R.* Waddington, R.J., Harding, K.G., Stephens, P. Thomas D.W. Comparison of oxidative stress biomarker profiles between acute and chronic wound environments. *Wound Repair Regen.* 2004; 12 (4): 419-429.
6. *Romeo M., Bennani N., Gnassia-Barelli M., Lafaurie M., Girard J.P.* Cadmium and copper display different responses to wards oxidative stress in the kidney of the sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Aqual. Toxicol.* 2000; 48 (2-3): 185 – 194.
7. *Kamunde C., Grosell M., Higgs D., Wood C.M.* Copper metabolism in actively growing rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) interactions between dietary and waterborne copper uptake. *J. Experim. Biol.* 2002; 205: 279 – 290.
8. *Leus Yu.V., Arsan O.M.Y., Grubinko V.V.* Prooxidant-antioxidant status of the body of a carp under the action of ions of copper, manganese, lead and zinc. *DAN of Ukraine.* 1998; (7): 155 – 1(in Russian)
9. *Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R.* Effect of low concentrations of copper ions on immunobiochemical indices in the carp young (*Cyprinus Carpio*). *Toksikol. Vestn.* 2009; (6): 13 – (in Russian)
10. *Silkina N.I., Mikryakov V.R., Mikryakov D.V.* Influence of the sublethal concentrations of the copper ions to the indices of the growth of young carp. *Fish farming and fisheries.* 2011; 1: 61 – (in Russian)
11. *Mikryakov V.R.* Regularities of Formation of Acquired Immunity in Fishes. Rybinsk: IBIW RAN; 19(in Russian)
12. *Grinevich Y.A., Alferov A.N.* Determination of immune complexes in the blood of cancer patients. *Laboratory Practice.* 1981; (8): 493 – 4(in Russian)
13. *Folch J., Lees M., Stanley G.N.* A simple method for the isolation and purification of total lipids from animals tissues. *J. Biol. Chem.* 1957; 2(3): 497 – 509.
14. *Andreeva L.I., Kozhemyakin N.A., Kishkun A.A.* Modification of methods for determining lipid peroxides in the thiobarbituric acid test. *Laboratory Practice.* 1988; (11): 41 – (in Russian)
15. *Semenov V.L., Yarosh A.M.* Method for determination of antioxidant activity of biological material. *Ukr. biokhim. zhurn.* 1985; 57 (3): 50 – (in Russian)
16. *Loginov S.I., Smirnov P.N., Trunov A.N.* Immune Complexes in Animals and Humans: the Norm and Pathology. Novosibirsk: RASKhN, Sib. otd., Institute of Experimentally Veterinary Medicine of Siberia and Far East; 19(in Russian)
17. *Roitt I.M., Brostoff J., Male D.* Immunology. New York: Harper & Row; 1989.
18. *Kaiho R., Sunshine D. Benjamini E.* Immunology: a textbook. M.: Publishing center «Academy»; 20 (in Russian)
19. *Shatunovskii M.I.* Ecological Patterns of Metabolism in Marine Fishes. Moscow: Nauka; 19 (in Russian)
20. *Gershanovich A.D., Lapin V.I., Shatunovskii M.I.* Specific Features of Lipid Metabolism in Fishes. *Usp. Sovrem. Biol.* 1991; 3 (2): 207-2(in Russian)
21. *Baraboi V.A., Brekhman I.I., Golotin V.G., Kudryshov Yu.B.* Peroxidation and Stress. St. Petersburg: Nauka; 19(in Russian)
22. *Menshikova E.B., Zenkov N.K., Lankin, V.Z., Bondar I.A., Trufakin V.A.* Oxidative Stress: Pathological Conditions and Diseases. Novosibirsk: ARTA; 20(in Russian)
23. *Fiho W.D.* Fish antioxidant defences – A comparative approach. *Braz. J. Med. and Biol. Res.* 1996; 29 (12): 1735 – 1742.
24. *Winston G.W.* Oxidants and antioxidants in aquatic animals. *Comp. Biochem. and Physiol.* 1991; 100 (1-2): 173 – 176.
25. *Mikryakov V.R., Silkina N.I., Mikryakov D.V.* Effect of Anthropogenic Pollution on the Immunological and Biochemical Mechanisms of Maintaining Homeostasis in Fish of the Black Sea. *Russian Journal of Marine Biology.* 2011; 37 (2): 151 – 157. (in Russian)
26. *Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R.* Effect of Anthropogenic Pollution on Oxidative Processes in the Liver of Fish from the Rybinsk Reservoir. *Russian Journal of Ecology.* 2012; 43 (6): 386 – 389. (in Russian)
27. *Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R.* Specific Features of Immune Status and Lipid Metabolism in Bream, *Abramis brama L.* from the Kuban River. *Russian Journal of Ecology.* 2013; 44 (4): 332 – 335. (in Russian)
28. *Kuzminova N., Rudneva I., Salekhova L. Salekhova L., Shevchenko N., Oven L.* State of Black Scorpion fish (*Scorpaena porcus L.*, 1758) inhabited coastal area of Sevastopol region (Black Sea) in 1998–20Turkish *J. Fish. Aquat. Sci.* 2011; (11): 101 – 111.
29. *Rudneva I.I., Kuzminova N.S.* Effect of chronic pollution on hepatic antioxidant system of Black Sea fish species. *Int. J. Sci. Nature.* 2011; 2 (2): 279 – 286.

*D.V. Mikryakov, N.I. Silkina, V.R. Mikryakov*

### SOME IMMUNOBIOCHEMICAL INDICES IN CRUCIAN CARP *CARASSIUS CARASSIUS* UNDER EXPOSURE TO SUBLETHAL CONCENTRATIONS OF COPPER IONS

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, 152742 Settlement Borok, Yaroslavl region, Russian Federation

Results of investigations into some immunobiochemical indices in crucian carp at a chronic exposure to sublethal concentrations of copper ions are reported. Anti-microbial properties in the blood serum and a share of immunodeficient fishes were studied, in liver they were a content of non specific immune complexes, level of common lipids, content of lipid peroxidation products and antioxidant activity. The dependency of values of indices under consideration on how long fishes stayed under experimental conditions was shown.

**Keywords:** fish, copper ions, humoral immunity, lipids, pro-and anti -oxidant system.

Переработанный материал поступил в редакцию 28.06.2016 г.