

Татьяна Борисовна КОВЫРШИНА<sup>1</sup>  
Светлана Олеговна ОМЕЛЬЧЕНКО<sup>2</sup>

УДК 597.556.333.1:577.15:591.145(262.5)

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ  
АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ КРОВИ  
И СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В МЫШЦАХ БЫЧКА-МАРТОВИКА  
ИЗ ЧЕРНОГО МОРЯ**

<sup>1</sup> научный сотрудник лаборатории экотоксикологии,  
Институт морских биологических исследований  
им. А.О. Ковалевского РАН (г. Севастополь)  
mtk.fam@mail.ru

<sup>2</sup> кандидат биологических наук,  
старший преподаватель кафедры  
естественно-математического образования,  
Крымский республиканский институт  
постдипломного педагогического образования  
(г. Симферополь)  
svet.omelchenko@mail.ru

**Аннотация**

Авторы статьи изучили сезонную динамику активности антиоксидантных (АО) ферментов крови и содержания токсичных элементов (ТЭ) в мышцах бычка-мартовика *Mesogobius batrachocephalus* (Pallas, 1814) из прибрежной зоны г. Севастополя (Черное море), а также влияние ТЭ на биомаркеры крови рыб. Установлены сезонные различия как в накоплении элементов в мышцах рыб, так и в характере ответных реакций биохимических маркеров крови. Показано влияние содержания ТЭ в мышцах бычка-мартовика на активность АО ферментов крови. Наиболее чувствительными к содержанию ТЭ в мышцах рыб являются КАТ (0,95;  $-0,52 < r < -0,97$ )

---

**Цитирование:** Ковыршина Т. Б. Сезонная динамика активности антиоксидантных ферментов крови и содержания токсичных элементов в мышцах бычка-мартовика из Черного моря / Т. Б. Ковыршина, С. О. Омельченко // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2017. Том 3. № 3. С. 129-140.  
DOI: 10.21684/2411-7927-2017-3-3-129-140

---

и ГР ( $0,96; -0,56 < r < -0,93$ ), тогда как наибольшее влияние на активность АО ферментов крови мартовика оказывали Cu, Hg и As.

#### Ключевые слова

Токсичные элементы, активность антиоксидантных ферментов, окислительный стресс, бычок-мартовик, Черное море.

DOI: 10.21684/2411-7927-2017-3-3-129-140

#### Введение

В настоящее время одними из приоритетных загрязнителей водных объектов, в том числе севавтопольских акваторий, являются токсичные элементы (ТЭ) [8]. Попадая в водную среду со стоками промышленных предприятий в результате разработки и освоения нефтегазовых месторождений в шельфовой зоне морей и т. д., ТЭ накапливаются в организме гидробионтов и даже в незначительных количествах стимулируют развитие окислительного стресса, влияют на состояние защитных систем организма и метаболические процессы в целом. ТЭ нарушают осморегуляцию, синтез и активность ряда ферментов, активируют систему детоксикации, приводят к снижению энергетических трат на процессы роста рыб [5, 15].

Среди всего многообразия загрязняющих веществ ТЭ в наибольшей степени провоцируют окислительный стресс как по прямому пути, так и опосредованно, влияя на показатели прооксидантно-антиоксидантной системы крови рыб, рекомендованные в качестве биомаркеров для оценки качества водной среды [1, 12, 16]. Так, токсическое действие тиоловых ядов (Hg, Pb и As) обусловлено их способностью связываться с SH-группами как активных центров ферментов, так и стабилизирующих третичную структуру белков. Это приводит к необратимым конформационным изменениям, ингибированию активности антиоксидантных (АО) ферментов и смещению прооксидантно-антиоксидантного равновесия в сторону процессов окислительной модификации биомолекул. Токсичность эссенциальных элементов чаще всего обусловлена их переходной валентностью, которая позволяет им вовлекаться в реакции по типу Фентона. Так, восстановление Cu и Fe сопряжено с распадом перекиси водорода и образованием гидроксильных радикалов, приводящих к окислительной модификации белковых молекул и инициирующих каскад перекисного окисления липидов [1].

Поступление ТЭ в организм гидробионтов в количествах, превосходящих индивидуальные потребности организмов и функциональные возможности систем детоксикации, приводит к увеличению их накопления в тканях рыб в концентрациях, превышающих нормируемые величины, что делает рыбу непригодной для употребления в пищу человеком. Таким образом, контроль за уровнем содержания ТЭ в тканях рыб является необходимым для безопасности населения [2].

В связи с этим, целью данной работы явилось изучение активности антиоксидантных ферментов и содержания ТЭ в мышцах бычка-мартовика в разные сезоны года, а также оценка влияния ТЭ на исследуемые биомаркеры крови рыб с использованием корреляционного анализа.

### Материалы и методы

Объектом исследования служил бычок-мартовик *Mesogobius batrachocephalus* (Pallas, 1814; n = 21), отловленный в прибрежной зоне г. Севастополя в 2003-2005 гг. в разные сезоны года.

Материалом исследований служила кровь рыб, отобранная из хвостовой артерии. В гемолизатах определяли активность пяти антиоксидантных (АО) ферментов по методам, описанным нами ранее [7].

Содержание меди, свинца, кадмия и цинка в мышцах рыб определяли полярографическим и атомно-абсорбционным методами с предварительной минерализацией, методом беспламенной атомной абсорбции анализировали концентрацию общей ртути, калориметрическим методом — содержание мышьяка [11].

Полученный цифровой материал анализировали статистически с использованием t-критерия Стьюдента. Для выявления зависимости между концентрацией ТЭ в мышцах и активностью АО ферментов крови рыб рассчитывали коэффициенты корреляции с помощью стандартной программы Microsoft Excel. Связь между тестируемыми показателями считали слабой, если коэффициент корреляции находился в следующих пределах ( $0 < r < 0,3$ ), умеренной ( $0,3 < r < 0,5$ ), значительной ( $0,5 < r < 0,7$ ) и сильной ( $0,7 < r < 0,9$ ) [9].

### Результаты и обсуждение

Согласно данным таблицы 1 уровень ТЭ в мышцах бычка-мартовика отличается по сезонам года, но не превышает установленные нормативные показатели их содержания в продовольственном сырье и пищевых продуктах (ПДК, мг/кг). Исключение составляет As, концентрация которого несколько выше ПДК для этого элемента в мышцах рыб осенью [13].

Уровень Cu и As в тканях бычка-мартовика выше в осенне-зимний период ( $p \leq 0,001$ ), что было отмечено нами ранее и для бычка-кругляка [6]. Содержание Pb достоверно ниже в мышцах рыб весной по сравнению с летним и осенним сезонами ( $p \leq 0,001$ ). Концентрация Cd выше летом, чем осенью ( $p \leq 0,01$ ). Максимальное содержание Zn в мышцах рыб зафиксировано летом и превышает значение этого показателя у рыб зимой в 11 раз ( $p \leq 0,001$ ), а осенью в 6 ( $p \leq 0,001$ ). Уровень ртути достоверно увеличивается весной по сравнению с зимним сезоном ( $p \leq 0,001$ ) и уменьшается летом ( $p \leq 0,01$ ).

Активность АО ферментов эритроцитов крови бычка-мартовика представлена в таблице 2.

Активность большинства АО ферментов увеличивается весной по сравнению с зимним сезоном и снижается летом. Различия достоверны только для СОД ( $p \leq 0,01$ ). Активность ПЕР снижается в ряду зима → весна → лето, различия достоверны между активностью этого фермента зимой и летом ( $p \leq 0,05$ ).

Таблица 1

**Содержания токсичных элементов (мг/кг) в мышцах бычка-мартовика из акваторий г. Севастополя в разные сезоны года**

Сезон	Cu	Pb	Cd	Zn	As	Hg
Зима	0,86 ± 0,05	< 0,02	—	1,71 ± 0,05	3,89 ± 0,9	0,063 ± 0,002
Весна	0,23 ± 0,01*	0,031 ± 0,002	<0,01	2,33 ± 0,5	0,41 ± 0,1*	0,079 ± 0,0007*
Лето	0,40 ± 0,05*■	0,23 ± 0,04■	0,03 ± 0,001	20,3 ± 2,2*■	2,94 ± 1,5	0,053 ± 0,008■
Осень	0,96 ± 0,02■●	0,25 ± 0,04■	0,018 ± 0,004●	3,34 ± 0,6*●	5,48 ± 0,04■	0,07 ± 0,007
ПДК	10,0	1,0	0,2	40,0	5,0	0,4

Примечания: \* — достоверность различий с зимним сезоном; ■ — с весенним; ● — с летним

Table 1

**The content of toxic elements (mg/kg) in muscles of the knout goby from the waters of Sevastopol in different seasons of the year**

Notes: \* — reliability of differences with the winter season; ■ — with spring; ● — with summer

Таблица 2

**Активности антиоксидантных ферментов (на мг Hb/мин, M ± m) эритроцитов крови бычка-мартовика из акваторий г. Севастополя в разные сезоны года**

Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень
КАТ, мг H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,53 ± 0,06	1,11 ± 0,41	0,48 ± 0,03	0,35
СОД, усл. ед.	68,74 ± 19,15	248,59 ± 18,29*	144,93 ± 22,91*■	249,19
ПЕР, опт. ед.	15,17 ± 3,57	11,33 ± 5,09	7,39 ± 0,80*	24,9
ГР, нмоль НАДФН	4,40 ± 1,15	12,72 ± 5,63	3,2 ± 0,85	0,59
ГТ, нмоль конъюгата	15,99 ± 4,91	141,10 ± 86,58	31,63 ± 7,87	13,44

Примечания: \* — достоверность различий с зимним сезоном; ■ — с весенним

Table 2

**The activity of antioxidant enzymes (per mg Hb/min, M ± m) of erythrocytes from the blood of the knout goby from the waters of Sevastopol in different seasons of the year**

Notes: \* — reliability of differences with the winter season; ■ — with spring

Таким образом, результаты исследований позволили установить определенные сезонные различия как в накоплении ТЭ в мышцах рыб, так и в характере ответных реакций биохимических маркеров крови, которые могут зависеть от особенностей биологии данного вида и сезонных изменений уровня антропогенной нагрузки на бухты города.

Следующим этапом наших исследований явился корреляционный анализ между активностью ферментов антиоксидантной системы (АОС) и уровнем ТЭ в мышцах мартовика (таблица 3).

Результаты корреляционного анализа позволили установить зависимость между активностью АО ферментов эритроцитов крови и концентрацией ТЭ в мышцах бычка-мартовика. Сильная и значительная связь установлена между активностью всех АО ферментов и содержанием Cu в тканях рыб. Между содержанием Pb и Zn в мышцах и активностью всех анализируемых ферментов показана отрицательная связь: с КАТ значительная ( $r = -0,52$ ;  $-0,54$  соответственно), с ПЕР сильная ( $r = -0,88$ ;  $-0,88$  соответственно), слабая с СОД ( $r = -0,04$ ;  $-0,06$  соответственно), значительная с ГР ( $r = -0,56$ ;  $-0,57$  соответственно) и умеренная с ГТ ( $r = -0,35$ ;  $-0,37$  соответственно). Активность ПЕР слабо коррелирует с уровнем As ( $r = 0,26$ ), хотя между активностью КАТ, СОД, глутатионзависимых ферментов и содержанием этого элемента установлена сильная отрицательная связь ( $r = (-0,93) - (-0,99)$ ). Сильная корреляционная зависимость отмечена между содержанием Hg в мышцах рыб и активностью КАТ, ГР и ГТ, значительная ( $r = 0,68$ ) и умеренная ( $r = 0,39$ ) положительная связь показана с активностью СОД и ПЕР соответственно.

Таким образом, была установлена определенная связь между содержанием ТЭ в мышцах бычка-мартовика и реакциями ферментов АОС крови в разные сезоны года.

Рацион питания мартовика на 70,5% состоит из мелкой рыбы (бычков, атерины, хамсы и др.) и в меньшей степени из ракообразных и червей [14]. В результате ТЭ, передаваясь по пищевым цепям, могут накапливаться в организме мартовика с эффектом усиления, что отражается на состоянии защитных систем организма, включая АОС.

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции между содержанием токсичных элементов в мышцах и активностью антиоксидантных ферментов крови бычка-мартовика из акваторий г. Севастополя**

Table 3

**Coefficients of correlation between the content of toxic elements in muscles and the activity of antioxidant enzymes of blood of the knout goby from the waters of Sevastopol**

Фермент	Cu	Pb	Zn	As	Hg
КАТ	-0,66	-0,52	-0,54	-0,94	0,95
СОД	-0,94	-0,04	-0,06	-0,99	0,68
ПЕР	0,70	-0,89	-0,88	0,26	0,39
ГР	-0,62	-0,56	-0,57	-0,93	0,96
ГТ	-0,78	-0,35	-0,37	-0,99	0,87

В наших исследованиях уровень Cu и As в мышцах бычка-мартовика выше в осенне-зимний период, Pb — осенью, что может быть связано с изменением спектра и интенсивности питания данного вида в разные сезоны года. В отличие от кругляка, интенсивность питания которого снижается при температуре морской воды ниже 5°C, мартовик активно питается и в холодное время года. Зимой спектр его питания существенно сужается и состоит в основном из рыбы [10], с чем, вероятно, и связано увеличение вышеперечисленных элементов в мышечной ткани рыб в холодное время года. Таким образом, высокое содержание Cu и As в мышцах мартовика зимой, вероятно, привело к ингибированию активности АО ферментов эритроцитов крови рыб (таблица 2).

Мартовик нерестится с февраля до начала мая. Самцы охраняют кладки с икрой, и в большинстве случаев во время икрометания их желудки пусты, но гибель рыб не наблюдается [3, 14]. Вероятно, более низкие концентрации всех исследуемых элементов (за исключением Hg) в мышцах мартовика весной обусловлены вынужденным во время нереста голодом и, соответственно, снижением поступления ТЭ в организм рыб с пищей. Кроме того, реорганизация метаболических превращений у рыб в этот период требует больших затрат биофильных элементов, для которых в организме предусмотрены физиологические механизмы регуляции их содержания, что также объясняет снижение уровня эссенциальных элементов (Cu, Zn) в мышцах мартовика весной. Увеличение активности большинства АО ферментов весной (таблица 2) может быть связано с прогревом морской воды, повышением уровня обменных процессов, а также снижением концентрации ТЭ в мышцах рыб (таблица 1).

Снижение активности СОД и ПЕР летом свидетельствует об ингибирующем действии загрязнителей, в том числе ТЭ, содержание которых (за исключением Hg) выше в мышцах рыб летом и осенью (таблица 2). Кроме того, токсичность ТЭ может возрастать с увеличением температуры воды [4] в бухтах города летом, что также способствует развитию токсического ответа со стороны АОС.

Для того, чтобы определить, какой из исследуемых элементов в большей степени влияет на показатели АОС и наиболее чувствительный фермент, нами была составлена таблица 4.

Наиболее восприимчивыми к накопленным в тканях рыб ТЭ являются КАТ (0,95;  $-0,52 < r < -0,97$ ) и ГР (0,96;  $-0,56 < r < -0,93$ ), у которых показана сильная / значительная корреляционная связь со всеми из анализируемых элементов. Сильная зависимость была установлена между активностью СОД, ПЕР, ГТ эритроцитов мартовика и содержанием трех из пяти исследуемых элементов в мышцах рыб, что свидетельствует об избирательной чувствительности этих ферментов. В то же время у бычка-кругляка самыми чувствительными к накопленным в тканях ТЭ являются ферменты СОД ( $0,87 < r < 0,99$ ;  $-0,54 < r < -0,76$ ) и ПЕР ( $0,50 < r < 0,72$ ;  $-0,84 < r < -0,98$ ) [6]. Выявленные отличия обусловлены особенностями биологии видов и зависят от концентрации элементов в их мышцах и эффективности механизмов их детоксикации, определяющих адаптационные возможности вида.

Таблица 4

Степень зависимости между содержанием токсичных элементов в мышцах и активностью антиоксидантных ферментов крови бычка-мартовика из акваторий г. Севастополя

Table 4

The degree of dependence between the content of toxic elements in muscles and the activity of antioxidant enzymes of the blood of the knout goby from the waters of Sevastopol

Фермент	Cu	Pb	Zn	As	Hg
КАТ	++	++	++	+++	+++
СОД	+++	-	-	+++	++
ПЕР	+++	+++	+++	-	+
ГР	+++	++	++	+++	+++
ГТ	+++	+	+	+++	+++

Примечания: (-) — слабая связь ( $0 < r < 0,3$ ); (+) — умеренная ( $0,3 < r < 0,5$ ); (++) — значительная ( $0,5 < r < 0,7$ ); (+++) — сильная ( $0,7 < r < 0,9$ )

Notes: (-) — weak connection ( $0 < r < 0.3$ ); (+) — moderate ( $0.3 < r < 0.5$ ); (++) — significant ( $0.5 < r < 0.7$ ); (+++) — strong ( $0.7 < r < 0.9$ )

Согласно данным таблицы 4 наибольшее влияние на активность АО ферментов эритроцитов крови мартовика оказывали элементами Cu, Hg и As.

Cu относится к необходимым микроэлементам, регулирует активность ряда ферментов и многие реакции клеточного дыхания [5]. В то же время его способность вовлекаться в окислительно-восстановительные циклы приводит к образованию активных форм кислорода (АФК), повреждающих биомолекулы и, в частности, АО ферменты. Нами установлена сильная / значительная отрицательная связь с активностью всех (за исключением ПЕР) ферментов, что свидетельствует об ингибирующем действии этого металла на анализируемые биомаркеры крови бычка-мартовика. Снижение активности АО ферментов и ряда ферментов энергетического обмена у рыб при хроническом действии меди было показано в работах ряда авторов [5, 16].

Элементы Hg и As относят к тиоловым ядам, способным блокировать различные биохимические реакции посредством связывания с SH-группами белков. Нами установлена сильная / значительная положительная связь между уровнем Hg, а также сильная отрицательная связь между содержанием As и показателями АОС крови. Вероятно, более выраженный токсический эффект As на активность АО ферментов имеет концентрационную зависимость и связан с высоким содержанием этого элемента в мышцах мартовика, превышающим ПДК осенью.



### Заключение

Таким образом, нами установлены сезонные изменения содержания ТЭ в мышцах и активности АО ферментов крови бычка-мартовика, которые могут быть связаны с особенностями биологии данного вида и уровнем загрязнения акваторий в разные сезоны года. Показано влияние ТЭ в мышцах бычка-мартовика на тестируемые биомаркеры крови, которое может зависеть от концентрации элемента в мышцах рыб, токсичности / биофильности и эффективности механизмов его детоксикации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борвинская Е. В. Глутатион-S-трансферазы рыб — потенциальные эколого-биохимические индикаторы антропогенного воздействия на водную среду (обзор) / Е. В. Борвинская, Л. П. Смирнов, Н. Н. Немова // Труды Карельского научного центра РАН. 2009. № 3. С. 8-19.
2. Ваганов А. С. Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб куйбышевского водохранилища / А. С. Ваганов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Том 13. № 5 (2). С. 143-146.
3. Васильева Е. Д. Рыбы Черного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригаллиных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранных С. В. Богородским / Е. Д. Васильева. М.: Изд-во ВНИРО, 2007. 238 с.
4. Голованова И. Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных / И. Л. Голованова // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 99-108.
5. Действие магнитного поля и меди на активность гидролитических ферментов у сеголеток плотвы *Rutilus rutilus* / И. Л. Голованова, А. А. Филиппов, В. В. Крылов, Ю. В. Чеботарева, Ю. Г. Изюмов // Вопросы ихтиологии. 2013. Том 53. № 2. С. 227-232. DOI: 10.7868/S0042875213020045
6. Ковыршина Т. Б. Сезонные изменения содержания токсичных элементов и параметров окислительного стресса в тканях черноморского бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* / Т. Б. Ковыршина, С. О. Омельченко // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3 «Биология». 2014. Вып. 1. С. 14-23.
7. Ковыршина Т. Б. Влияние загрязнения прибрежных вод Черного моря на биомаркеры крови бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* Pallas, 1811 (Perciformes: Gobiidae) / Т. Б. Ковыршина, И. И. Руднева // Биология моря. 2016. Том 42. № 1. С. 34-40.
8. Копытов Ю. П. Уровень загрязненности воды и донных отложений Севастопольской бухты (Черное море) / Ю. П. Копытов, Н. И. Минкина, Э. З. Самышев // Системы контроля окружающей среды / НАН Украины. МГИ: Сб. науч. тр. Севастополь, 2010. Вып. 14. С. 199-208.
9. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
10. Найденова Н. Н. Зависимость паразитофауны бычков от сезона года / Н. Н. Найденова // Биология моря. 1976. Вып. 36. С. 91-96.



11. Омельченко С. О. Состояние азотистого обмена рыб в условиях загрязнения нитрозаминами и токсичными элементами: автореф. канд. биол. наук / С. О. Омельченко. Симферополь, 2009. 20 с.
12. Подувкин Н. А. Особенности свободнорадикальных процессов в организме некоторых видов хищных рыб в различные сезоны года / Н. А. Подувкин, П. В. Смутнев // Вестник АГТУ. Серия «Рыбное хозяйство». 2017. № 1. С. 117-123.
13. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.3.2.560-96 «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов». Утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 24 октября 1996 г. № 27. 15 с.
14. Световидов А. Н. Рыбы Черного моря / А. Н. Световидов. Ленинград: Наука, 1964. 550 с.
15. Jezierska B. The Effects of Heavy Metals on Embryonic Development of Fish (A Review) / B. Jezierska, K. Lugovska, M. Witeska // Fish Physiology and Biochemistry. 2009. Vol. 35. No 4. Pp. 625-640.  
DOI: 10.1007/s10695-008-9284-4
16. Protein Carbonyls and Antioxidant Defenses in Corkwing Wrasse (*Symphodus melops*) from a Heavy Metal Polluted and a PAH Polluted Site / B. C. Almroth, J. Sturve, E. Stephensen, T. F. Holth, L. Förlin // Marine Environmental Research. 2008. Vol. 66 (2). Pp. 1-29. DOI: 10.1016/j.marenvres.2008.04.002

Tatyana B. KOVYRSHINA<sup>1</sup>  
Svetlana O. OMELCHENKO<sup>2</sup>

**SEASONAL DYNAMICS OF THE ANTIOXIDANT ENZYMES  
ACTIVITIES IN BLOOD AND THE CONTENT  
OF TOXIC ELEMENTS IN THE MUSCLE  
OF THE KNOUT GOBY FROM THE BLACK SEA**

<sup>1</sup> Researcher, Ecotoxicological Laboratory,  
A. O. Kovalevsky Institute  
of Marine Biological Research of the RAS (Sevastopol)  
mtk.fam@mail.ru

<sup>2</sup> Cand. Sci. (Biol.), Senior Lecturer,  
Department of Natural Sciences and Mathematics Education,  
Crimean Republican Institute  
of Post-Diploma Pedagogical Education (Simferopol)  
svet.omelchenko@mail.ru

**Abstract**

This article studies the seasonal dynamics of the antioxidant enzymes activities in blood and the content of toxic elements in the muscles of knout goby (*Mesogobius batrachocephalus* Pallas) from the coastal waters of Sevastopol (the Black Sea). The authors discuss the influence of toxic elements contained in muscles on the activities of antioxidant enzymes in blood of knout goby. The obtained results show that the most sensitive to tissue accumulation of toxic elements are enzymes CAT ( $0.95, -0.52 < r < -0.97$ ) and GR ( $0.96, -0.56 < r < -0.93$ ), while Cu, Hg and As have the most toxic effect on the biochemical parameters.

**Keywords**

Toxic elements, activity of antioxidant enzymes, oxidative stress, knout goby, Black Sea.

**DOI: 10.21684/2411-7927-2017-3-3-129-140**

---

**Citation:** Kovyrshina T. B., Omelchenko S. O. 2017. "Seasonal Dynamics of the Antioxidant Enzymes Activities in Blood and the Content of Toxic Elements in the Muscle of the Knout Goby from the Black Sea". Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 3, no 3, pp. 129-140.

DOI: 10.21684/2411-7927-2017-3-3-129-140

---

## REFERENCES

1. Borvinskaya E. V., Smirnov L. P., N. Nemova N. 2009. "Glutation-S-transferazy ryb — potentsial'nye ekologo-biokhicheskie indikatory antropogenogo vozdeystviya na vodnyuyu sredyu (obzor)" [Glutathione-S-Transferase of Fish — Potential Ecological and Biochemical Indicators of Anthropogenic Impact on the Aquatic Environment (Review)]. Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN, no 3, pp. 8-19.
2. Vaganov A. S. 2011. "Sravnitel'naya kharakteristika sodержaniya tyazhelykh metallov v promyslovykh vidakh ryb kuybyshevskogo vodokhranilishcha" [Comparative Characteristics of Heavy Metals in Commercial Fish Species of the Kuibyshev Reservoir]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk, vol. 13, no 5 (2), pp. 143-146.
3. Vasil'eva E. D. 2007. Ryby Chernogo morya. Opredelitel' morskikh, solonovatovodnykh, evrigalinykh i prokhodnykh vidov s tsvetnymi illyustratsiyami, sobrannykh S. V. Bogorodskim [Pisces of the Black Sea. The Determinant of Marine, Brackish Water, Euryhaline and Pass-Through Species with Color Illustrations Collected by S. V. Bogorodsky]. Moscow: Izd-vo VNIRO.
4. Golovanova I. L. 2008. "Vliyaniye tyazhelykh metallov na fiziologo-biokhicheskiy status ryb i vodnykh bespozvonochnykh" [The Influence of Heavy Metals on the Physiological and Biochemical Status of Fish and Aquatic Invertebrates]. Biologiya vnutrennikh vod, no 1, pp. 99-108.
5. Golovanova I. L., Filippov A. A., Krylov V. V., Chebotareva Yu. V., Izyumov Yu. G. 2013. "Deystvie magnitnogo polya i medi na aktivnost' gidroliticheskikh fermentov u segoletok plotvy *Rutilus rutilus*" [Effect of Magnetic Field and Copper on the Activity of Hydrolytic Enzymes in Roach *Rutilus rutilus*]. Voprosy ikhtologii, vol. 53, no 2, pp. 227-232. DOI: 10.7868/S0042875213020045
6. Kovyrshina T. B., Omel'chenko S. O. 2014. "Sezonnye izmeneniya sodержaniya toksichnykh elementov i parametrov okislitel'nogo stressa v tkanyakh chernomorskogo bychka-kruglyaka *Neogobius melanostomus*" [Seasonal Changes in the Content of Toxic Elements and Oxidative Stress Parameters in the Tissues of the Black-Headed Goby *Neogobius melanostomus*]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 3. Biologiya, no 1, pp. 14-23.
7. Kovyrshina T. B., Rudneva I. I. 2016. "Vliyaniye zagryazneniya pribrezhnykh vod Chernogo morya na biomarkery krovi bychka-kruglyaka *Neogobius melanostomus* Pallas, 1811 (Perciformes: Gobiidae)" [Impact of Pollution of the Black Sea's Coastal Waters on the Biomarkers of the Blood of the Bull-Calf *Neogobius melanostomus* Pallas, 1811 (Perciformes: Gobiidae)]. Biologiya morya, vol. 42, no 1, pp. 34-40.
8. Kopytov Yu. P., Minkina N. I., Samyshev E. Z. 2010. "Uroven' zagryaznennosti vody i donnykh otlozheniy Sevastopol'skoy bukhty (Chernoe more)" [The Level of Pollution of Water and Bottom Sediments of the Sevastopol Bay (Black Sea)]. In: Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy. Sb. nauch. tr. MGI NAN Ukrainy [Environmental Monitoring Systems], no 14, pp. 199-208. Sevastopol.
9. Lakin G. F. 1990. Biometriya [Biometrics]. Moscow: Vysshaya shkola.
10. Naydenova N. N. 1976. "Zavisimost' parazitofauny bychkov ot sezona goda" [Dependence of the Parasite Fauna of Knout Gobys on the season]. Biologiya morya, no 36, pp. 91-96.

11. Omelchenko S. O. 2009. "Sostoyanie azotistogo obmena ryb v usloviyakh zagryazneniya nitrozaminami i toksichnymi elementami" [The State of Nitrogen Metabolism of Fish in Conditions of Contamination with Nitrosamines and Toxic Elements]. Cand. Sci. (Biol.) diss. abstract. Simferopol.
12. Poduvkin N. A., Smutnev P. V. 2017. "Osobennosti svobodnoradikal'nykh protsessov v organizme nekotorykh vidov khishchnykh ryb v razlichnye sezony goda" [Features of Free-Radical Processes in the Organism of Some Species of Predatory Fish in Different Seasons]. Vestnik AGTU. Ser. Rybnoe khozyaystvo, no 1, pp. 117-123.
13. SanPiN 2.3.2.560-96 1996 "Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti prodovol'stvennogo syr'ya i pishchevykh produktov" [Hygienic Requirements for the Quality and Safety of Food Raw Materials and Food Products]. Approved by RF Goskomsanepidnadzor on 24 October, no 27.
14. Svetovidov A. N. 1964. Ryby Chernogo morya [Pisces of the Black Sea]. Leningrad: Nauka.
- Jeziarska B., Lugovska K., Witeska M. 2009. "The Effects of Heavy Metals on Embryonic Development of Fish (A Review)". Fish Physiology and Biochemistry, vol. 35, no 4, pp. 625-640. DOI: 10.1007/s10695-008-9284-4
15. Almroth B. C., Sturve J., Stephensen E., Holth T. F., Förlin L. 2008. "Protein Carbonyls and Antioxidant Defenses in Corkwing Wrasse (*Symphodus melops*) from a Heavy Metal Polluted and a PAH Polluted Site". Marine Environmental Research, vol. 66 (2), pp. 1-29. DOI: 10.1016/j.marenvres.2008.04.002