

УДК 597.442:628.394.12 (262.81)

## НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ ИНИЦИИРОВАНИЯ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕСА У ОСЕТРОВЫХ

© 2012 П.П. Гераскин<sup>1</sup>, Е.Н. Пономарёва<sup>1</sup>, Г.Ф. Металлов<sup>1</sup>, М.Л. Галактионова<sup>2</sup><sup>1</sup> Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону<sup>2</sup> Каспийский филиал института океанологии им. П.П. Шишова РАН

Поступила в редакцию 17.05.2012

На основании многолетних материалов проанализированы зависимости интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) мышц и печени от уровня загрязнения вод Северного Каспия различными видами токсических веществ и их влияние на активность цитохромоксидазы – фермента, контролирующего интенсивность тканевого дыхания.

Ключевые слова: ПОЛ, регрессионный анализ, активность цитохромоксидазы, поллютанты

Действие поллютантов на организм рыб хотя и проявляется в разнообразии ответных реакций, однако их совокупность зачастую стереотипна и соответствует этапам развития общих адаптационных реакций, в том числе фазам стресса. Это отмечают многие исследователи при проведении токсикологических опытов как в случае острой, так и хронической интоксикации [11]. Токсические вещества, являясь чрезвычайным раздражителем, как правило, значительно увеличивают интенсивность перекисных процессов в организме животных, вызывая у них оксидативный стресс. У рыб увеличение интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) в тканях вызывают разные виды загрязнителей. Это могут быть тяжелые металлы, нефть, яды органического ряда, пестициды. Так, в опытах на карпе показано существенное повышение уровня ПОЛ в печени, жабрах и мышцах под воздействием солей меди и цинка [18]. Увеличение интенсивности реакции ПОЛ зафиксировано в мозге, печени, и мышечной ткани при воздействии солей ртути на сома [16], а в печени – у молоди осетровых рыб в экспериментах с органическими соединениями олова [6]. Свинец и никель также вызывал активизацию ПОЛ у карпа, в результате чего у него в крови увеличивалось содержание диенового конъюгата и малонового диальдегида [2, 3]. Под воздействием смеси четыреххлористого углерода, диэтилмалеата и кадмия [19] возрастала интенсивность ПОЛ в гомогенатах и микросомах печени кефали (*Mugil cephalus*) и микропогона

(*Micropodonias undulatus*). Гербициды также вызывали повышенную активность реакции ПОЛ у карпа, карася и линя [17]. Изучение воздействия пестицидов группы синтетических пиретроидов на различные виды промысловых рыб Азовского моря выявило у них интенсификацию свободнорадикальных процессов в крови [10]. Двухнедельный контакт со стоками целлюлозно-бумажного производства 2-х видов *Oreochromis niloticus* приводил к повышению уровня перекисей липидов в печени, как и у сомов (*Genidens genidens*), выловленных в загрязненном участке моря [20]. Такой же эффект вызывало воздействие нефти на сеголеток русского осетра в концентрациях 10–20 ПДК [7]. Замечена также активизация процессов ПОЛ у карпа при повышенных концентрациях аммиака в водной среде [2].

Таким образом, увеличение интенсивности перекисных процессов в организме рыб и, прежде всего, в печени, возникает под воздействием разных токсических веществ. Присутствие в водах Каспия большого разнообразия токсикантов затрудняет задачу выделения из них веществ вызывающих у осетровых рыб оксидативный стресс, однако применение методов регрессионного анализа даёт такую возможность – выделить из всего разнообразия, ведущие факторы.

**Материал и методика.** Для изучения оксидативного стресса у осетровых рыб исследовалась интенсивность ПОЛ у русского осетра, севрюги и белуги в печени и белых мышцах по реакции малонового диальдегида (МДА) с тиобарбитуровой кислотой, выделяя спонтанную (СППОЛ) и аскорбатзависимую (АСПОЛ) составляющие, а также накопление МДА в исследуемых тканях [15]. Пробы печени и белых мышц у рыб отбирали сразу же после их вылова тралом. Отлов осетровых рыб вели весной, летом и осенью в Северном Каспии. Анализ проводили по среднегодовым величинам многолетних материалов, полученных в 1993–2003 гг., сравнивая их с данными по среднегодовому содержанию в Северном Каспии

Гераскин Пётр Петрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории водных биоресурсов и аквакультуры. E-mail: PPG@mail.ru

Пономарёва Елена Николаевна, доктор биологических наук, профессор, заведующая отделом водных биологических ресурсов бассейнов южных морей. E-mail: aquagroup@yandex.ru

Металлов Геннадий Фёдорович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории водных биоресурсов и аквакультуры. E-mail: Genmet@mail.ru  
Галактионова Майя Львовна, научный сотрудник. E-mail: Galakti\_m@mail.ru

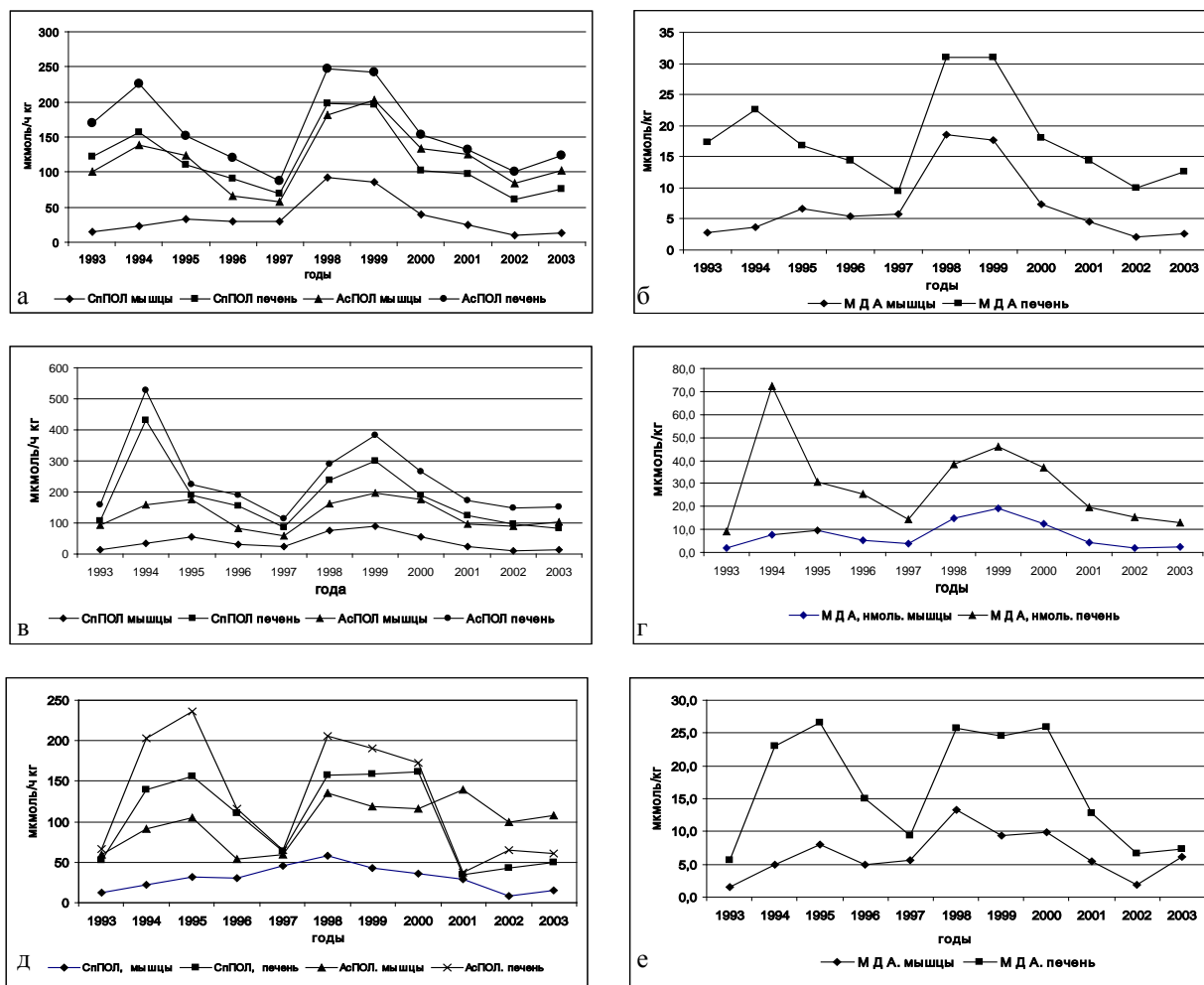
различных токсических веществ, любезно предоставленными сотрудниками лаборатории водных проблем и токсикологии КаспНИРХ. Активность ферментов энергетического обмена – цитохром-оксидазы и лактатдегидрогеназы определяли также в печени и мышцах. Цитохромоксидазы – по скорости окисления восстановленного цитохрома С, лактатдегидрогеназы – окисления лактата в пируват [5, 13].

**Результаты исследования и обсуждение.**

Окислительный стресс у животных возникает в результате нарушения равновесия в системе прооксиданты-антиоксиданты в сторону накопления молекул с прооксидантными свойствами. Разнообразные по своей природе внешние раздражители, при достаточной силе и продолжительности действия, вызывая активизацию ПОЛ [12], могут

сдвинуть это равновесие и вызвать окислительный стресс.

У разновозрастных особей русского осетра, севрюги и белуги, выловленных в Северном Каспии, также зафиксирована высокая интенсивность перекисидации липидов в печени и мышцах. В одних случаях она была очень высокой, в других опускалась до относительно низких величин. Такие колебания отмечены как для СпПОЛ, так и протекающей по аскорбатзависимому типу АсПОЛ, а также в накоплении продукта этой реакции – МДА. Межгодовые изменения интенсивности обоих типов реакций перекисления и накопления МДА в печени и мышцах у всех исследованных видов однотипны, при имеющихся видовых особенностях (рис. 1).



**Рис. 1.** Межгодовая динамика интенсивности перекисных процессов (АсПОЛ и СпПОЛ) и накопления МДА в печени и мышцах русского осетра (а, б), севрюги (в, г) и белуги (д, е)

В динамике межгодовых изменений интенсивности перекисных процессов, как в печени, так и мышцах русского осетра, севрюги и белуги четко прослеживаются два пика. Первый пик приходится на 1994 г., а у белуги он пролонгируется и на 1995 г., второй – на 1998-1999 гг. При этом хорошо просматриваются видовые особенности исследованных рыб, выражающиеся в интенсивности

рос-та изучаемых параметров ПОЛ в эти годы. Такие резкие изменения в межгодовых колебаниях параметров ПОЛ возможны лишь при появлении во внешней среде факторов, воздействия которых на организм рыб носят чрезвычайный характер. Это высокий уровень загрязнения морских вод поллютантами, органического и неорганического характера.

Сопоставление межгодовой динамики уровня ПОЛ в печени у исследованных видов осетровых с колебаниями содержания нефтяных углеводородов в воде Северного Каспия в этот период выявило достаточно высокое их сходство. Естественно в условиях большого водоёма и высокой миграционной способности осетровых и их биологических особенностей эти совпадения не были идеальными, однако общие черты динамики изменений совпадали. Минимальному содержанию в воде этих веществ в 1997 г. соответствовал и минимальный уровень ПОЛ у всех трех (русский осетр, севрюга, белуга) видов осетровых. В тоже время рост концентрации нефтеуглеводородов в воде в 1998 г. в 4,3 раза, по сравнению с 1987 г. [8], вызвал соответственно увеличение интенсивности ПОЛ как в печени, так и в мышцах. То же самое наблюдалось и в 1994 г. – увеличение содержания нефтяных углеводородов в водах Северного Каспия повлекло за собой и подъем скоростей ПОЛ в исследуемых тканях осетровых. Соответствие и

направленность изменений концентрации в воде нефтяных углеводородов и уровня ПОЛ отмечается и в 1995 и 1996 гг.: больше НУ – выше ПОЛ в 1995 г., в сравнении с 1996 г. Заметим при этом, что повышенные концентрации нефтеуглеводородов в период 1999 г. по 2002 г. [9, 14] отразились и на динамике параметров ПОЛ в эти же годы. При этом необходимо учесть, что в это же время в водах Северного Каспия регистрировались и другие виды токсикантов, как органического, так и неорганического характера: фенолы, СПАВ, ХОП, цинк, медь, свинец, кадмий и марганец.

Для уточнения степени влияния загрязняющих веществ на интенсивность перекисных процессов в мышцах и печени осетровых рыб был применён регрессионный анализ. Зависимость интенсивности перекисных процессов от уровня общего загрязнения вод Северного Каспия оказалась очень высокой: коэффициент множественной корреляции колебался от 0,84 до 1,00 (табл. 1).

**Таблица 1.** Уравнения множественной регрессии параметров ПОЛ тканей русского осетра от уровня загрязнения различными видами токсикантов

Показатели		R	R <sup>2</sup>	R <sup>2*</sup>	p	Уравнения множественной регрессии
печень	АсПОЛ мкмоль/ч на кг	0,844	0,713	-1,87	> 0,05	статистически неподтверждаемая зависимость
	СпПОЛ мкмоль/ч на кг	0,907	0,823	-0,77	> 0,05	статистически неподтверждаемая зависимость
	МДА мкмоль/кг	0,909	0,826	-0,74	> 0,05	статистически неподтверждаемая зависимость
мышцы	АсПОЛ мкмоль/ч на кг	0,934	0,872	-0,28	> 0,05	статистически неподтверждаемая зависимость
	СпПОЛ мкмоль/ч на кг	1,000	1,000	1,000	< 0,01	$Y = -0,20X_1 + 1,37X_2 + 0,416X_3 - 0,35X_4 + 0,44X_5 - 0,88X_6 + 0,21X_7 + 1,05X_8 + 0,249X_9 - 31,59$
	МДА мкмоль/кг	1,000	1,000	0,997	< 0,05	$Y = -0,29X_1 + 1,49X_2 + 0,44X_3 - 0,31X_4 + 0,088X_5 - 0,98X_6 + 0,26X_7 + 1,07X_8 + 0,28X_9 - 7,64$

*Примечание:* X<sub>1</sub> – Нефтеуглеводороды; X<sub>2</sub> – Фенолы; X<sub>3</sub> – СПАВ; X<sub>4</sub> – ХОП; X<sub>5</sub> – Zn; X<sub>6</sub> – Cu; X<sub>7</sub> – Pb; X<sub>8</sub> – Cd; X<sub>9</sub> – Mn, R – множественный коэффициент корреляции; R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации; R<sup>2\*</sup> – скорректированный коэффициент детерминации; p – уровень значимости

Однако достоверными являются лишь регрессионные линейные уравнения зависимости скорости СпПОЛ в мышечной ткани и накопление в ней МДА от концентраций в воде исследованных токсикантов. В этом случае коэффициент множественной корреляции достигает 1,00, показывая прямую линейную зависимость этих параметров ПОЛ от уровня загрязнения токсическими веществами. Приведенные в таблице модели работают практически в 100% варианте (коэффициент детерминации R<sup>2</sup>=1,00, как и скорректированный его вариант R<sup>2\*</sup>). Более тесная связь интенсивности спонтанного ПОЛ и накопления МДА в мышцах объясняется меньшей лабильностью данных показателей, в сравнении с параметрами ПОЛ в печени, что даёт возможность им более адекватно реагировать на изменения уровня загрязнения среды обитания. Более детальный анализ зависимостей исследуемых параметров ПОЛ от концентраций отдельно взятых поллютантов показал, что достоверную корреляционную связь из большого набора загрязняющих веществ демонстрируют: содержание в воде нефтеуглеводородов, фенолов, а также меди и кадмия (табл. 2).

В первом случае регрессионные модели, подобранные для отдельных параметров ПОЛ, имеют коэффициенты корреляции от 0,61 до 0,81, во втором – от 0,66 до 0,84. В случае с кадмием они также высоки – 0,69-0,84. Достоверные модели корреляционных отношений меди и параметров ПОЛ найдены лишь для таких показателей как спонтанное ПОЛ в мышцах и содержание в них МДА при примерно близких коэффициентах корреляции. Если рассмотреть вариант множественной корреляции параметров ПОЛ печени с выявляемыми в воде Северного Каспия токсичными веществами, то достоверный характер обнаружен лишь для регрессионных уравнений, связанных с содержанием в этом органе МДА и интенсивностью спонтанного переокисления (табл. 3). В первом случае при варианте с тремя (НУ, фенолы, Cd) и четырьмя (НУ, фенолы, Cd, Cu) токсичными веществами, во втором – только с тремя токсикантами. Из этого следует, что основой негативного влияния загрязнения вод Северного Каспия на русского осетра составляют нефтеуглеводороды, фенолы и кадмий, а также медь.

**Таблица 2.** Уравнения регрессии параметров ПОЛ тканей русского осетра от уровня загрязнения различными видами токсикантов

Показатели		Коэффициент		Уровень значимости	Уравнения регрессии
		корреляции	детерминации		
нефтеуглеводороды (мг/л)					
печень	АсПОЛ	$r = 0,6162$	$R^2 = 0,38$	$p < 0,05$	$Y = 164,240 X + 42,289$
	СпПОЛ	$r = 0,6634$	$R^2 = 0,44$	$p < 0,05$	$Y = 142,681 X + 25,261$
	МДА	$r = 0,7420$	$R^2 = 0,55$	$p < 0,01$	$Y = 24,485 X + 3,333$
мышцы	АсПОЛ	$r = 0,6385$	$R^2 = 0,40$	$p < 0,05$	$Y = 122,299 X + 30,740$
	СпПОЛ	$r = 0,8099$	$R^2 = 0,66$	$p < 0,01$	$Y = 97,423 X - 4,332$
	МДА	$r = 0,8005$	$R^2 = 0,64$	$p < 0,01$	$Y = 19,618 X - 0,998$
фенолы (мкг/л)					
печень	АсПОЛ	$r = 0,7225$	$R^2 = 0,52$	$p < 0,01$	$Y = 30,487 X + 15,497$
	СпПОЛ	$r = 0,7943$	$R^2 = 0,63$	$p < 0,01$	$Y = 28,323 X - 1,530$
	МДА	$r = 0,8000$	$R^2 = 0,64$	$p < 0,01$	$Y = 4,472 X - 0,4744$
мышцы	АсПОЛ	$r = 0,6642$	$R^2 = 0,44$	$p < 0,05$	$Y = 22,332 X + 12,651$
	СпПОЛ	$r = 0,8278$	$R^2 = 0,69$	$p < 0,01$	$Y = 17,066 X - 18,088$
	МДА	$r = 0,8373$	$R^2 = 0,70$	$p < 0,001$	$Y = 3,597 X - 4,069$
медь (мг/л)					
мышцы	СпПОЛ	$r = 0,7060$	$R^2 = 0,50$	$p < 0,05$	$Y = 1,560 X + 2,704$
	МДА	$r = 0,6684$	$R^2 = 0,45$	$p < 0,05$	$Y = 0,282 X + 0,596$
кадмий (мг/л)					
печень	АсПОЛ	$r = 0,6870$	$R^2 = 0,47$	$p < 0,05$	$Y = 226,405 X + 15,239$
	СпПОЛ	$r = 0,7532$	$R^2 = 0,57$	$p < 0,05$	$Y = 209,764 X - 1,515$
	МДА	$r = 0,7746$	$R^2 = 0,68$	$p < 0,01$	$Y = 33,870 X - 0,780$
мышцы	АсПОЛ	$r = 0,8384$	$R^2 = 0,70$	$p < 0,01$	$Y = 222,062 X - 6,443$
	СпПОЛ	$r = 0,8067$	$R^2 = 0,65$	$p < 0,01$	$Y = 130,623 X - 19,963$
	МДА	$r = 0,8216$	$R^2 = 0,60$	$p < 0,01$	$Y = 27,689 X - 4,488$

Примечание: АсПОЛ, СпПОЛ – мкмоль/ч на кг сырой ткани; МДА – мкмоль/кг сырой ткани

**Таблица 3.** Уравнения множественной регрессии параметров ПОЛ печени русского осетра от содержания в воде некоторых видов токсических веществ

Показатели ПОЛ	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2*</sup>	p	Уравнения множественной регрессии
СпПОЛ мкмоль/ч на кг	0,84	0,71	0,58	< 0,05	$Y = -0,12X_1 + 0,85X_2 + 0,59X_8 - 14,12$
МДА, мкмоль/кг	0,88	0,77	0,62	< 0,05	$Y = -0,08X_1 + 0,96X_2 + 0,40X_8 - 3,51$
	0,88	0,77	0,62	< 0,05	$Y = -0,08X_1 + 0,94X_2 + 0,073X_6 + 0,34X_8 - 3,70$

Примечание: X<sub>1</sub> – Нефтеуглеводороды; X<sub>2</sub> – Фенолы; X<sub>6</sub> – Cu; X<sub>8</sub> – Cd; R – множественный коэффициент корреляции; R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации; R<sup>2\*</sup> – скорректированный коэффициент детерминации; p – уровень значимости

Анализ в этом отношении параметров ПОЛ двух других видов осетровых дал результаты, свидетельствующие о видовых особенностях реакции этих рыб на загрязнение среды обитания. Так, у белуги достоверная множественная корреляция обнаружена с изученными компонентами загрязнения вод северного Каспия только для скоростей

аскорбатзависимого ПОЛ в мышцах, несмотря на высокие значения корреляционных отношений (от 0,94 до 1,00) по другим параметрам ПОЛ (табл. 4).

В отличие от русского осетра, у белуги выявлены лишь регрессионные зависимости (табл. 5) для двух пар: HУ: МДА (мышцы) и Zn: АсПОЛ (мышцы).

**Таблица 4.** Уравнение множественной регрессии интенсивности АсПОЛ печени белуги от уровня загрязнения различными видами токсикантов

Показатели ПОЛ	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2*</sup>	p	Уравнения множественной регрессии
АсПОЛ мкмоль/ч на кг	1,00	1,00	1,00	< 0,05	$Y = 0,30X_1 + 0,35X_2 + 0,09X_3 - 0,26X_4 + 0,63X_5 - 0,78X_6 - 0,02X_7 + 0,85X_8 - 0,21X_9 + 23,63$

Примечание: X<sub>1</sub> – Нефтеуглеводороды; X<sub>2</sub> – Фенолы; X<sub>3</sub> – СПАВ; X<sub>4</sub> – ХОП; X<sub>5</sub> – Zn; X<sub>6</sub> – Cu; X<sub>7</sub> – Pb; X<sub>8</sub> – Cd; X<sub>9</sub> – Mn; R – множественный коэффициент корреляции; R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации; R<sup>2\*</sup> – скорректированный коэффициент детерминации; p – уровень значимости

**Таблица 5.** Уравнения регрессии некоторых показателей ПОЛ в мышцах белуги от уровня загрязнения различными видами токсикантов

Показатели ПОЛ в мышцах	Токси канты	r	R <sup>2</sup>	p	Уравнение регрессии
МДА мкмоль/кг	HU мг/л	0,65	0,42	<0,05	$Y = 12,205X + 0,738$
АсПОЛ мкмоль/ч на кг	Zn мкг/л	0,85	0,71	<0,001	$Y = 1,429X + 8,326$

Примечание: r – коэффициент корреляции; R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации; p – уровень значимости

У севрюги регрессионный анализ даёт достоверные результаты лишь в случае уменьшения видового количества токсикантов, участвующих в моделировании зависимости перекисных процессов от содержания поллютантов в воде (табл. 6). Однако и в этом случае во всех вариантах регрессионного анализа, достоверно отражающих влияние компонентного состава загрязнения вод Северного Каспия, на первом месте присутствуют

нефтеуглеводороды и лишь как дополнение к ним тяжёлые металлы и один или два вещества органического происхождения. Для мышечной ткани найдены модели, отражающие влияние на интенсивность спонтанного ПОЛ комплекса нефтеуглеводородов, фенолы, СПАВ, медь и марганец, а МДА – регрессионное уравнение, элементами которого являются содержание в воде нефтеуглеводородов, СПАВ и марганца.

**Таблица 6.** Уравнение множественной регрессии параметров ПОЛ печени и мышц севрюги от уровня загрязнения различными видами токсикантов

	Показатели	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2*</sup>	p	Уравнение множественной регрессии
Мышцы	СпПОЛ мкмоль/ч на кг	1,00	1,00	1,00	<0,05	$Y = 0,32X_1 + 0,52X_2 - 0,24X_3 + 0,25X_6 + 0,53X_9 - 56,84$
	МДА мкмоль/кг	1,00	1,00	0,99	<0,001	$Y = 0,83X_1 - 0,24X_3 + 0,64X_9$
Печень	СпПОЛ мкмоль/ч на кг	1,00	1,00	1,00	<0,01	$Y = 0,85X_1 + 0,06X_2 - 0,09X_7 + 0,15X_8 + 0,29X_9 - 38,04$
	АсПОЛ мкмоль/ч на кг	1,00	1,00	1,00	<0,01	$Y = 1,10X_1 - 0,89X_6 + 0,45X_7 + 0,51X_8 + 0,52X_9 - 8,30$
	МДА мкмоль/кг	1,00	1,00	1,00	<0,01	$Y = 0,78X_1 + 0,07X_4 + 0,14X_6 + 0,25X_8 + 0,30X_9 - 10,15$

Примечание: X<sub>1</sub> – Нефтеуглеводороды; X<sub>2</sub> – Фенолы; X<sub>3</sub> – СПАВ; X<sub>4</sub> – ХОП; X<sub>6</sub> – Cu; X<sub>7</sub> – Pb; X<sub>8</sub> – Cd; X<sub>9</sub> – Mn, R – множественный коэффициент корреляции; R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации; R<sup>2\*</sup> – скорректированный коэффициент детерминации; p – уровень значимости

В печени интенсивность обоих типов реакций моделируют регрессионные уравнения, в состав которых входят: для спонтанной реакции – нефтеуглеводороды, фенолы и три тяжёлых металла (свинец, кадмий и марганец), а для аскорбат-зависимой – нефтеуглеводороды и 4 металла (медь, свинец, кадмий и марганец). Накопление в печени МДА в наибольшей степени отражает другой комплекс токсических веществ – нефтеуглеводороды, ХОП и тяжёлые металлы (медь, кадмий, марганец).

В этих сочетаниях практически все модели, представленные в таблице 6, работают в 100% варианте (коэффициент детерминации R<sup>2</sup> и его скорректированная величина R<sup>2\*</sup> равны 1,00). В случае регрессионного анализа по отдельным видам токсических веществ, у севрюги достоверные связи выявлены для двух параметров ПОЛ в мышцах: интенсивности спонтанного ПОЛ и содержания МДА, величина которых коррелирует с содержанием в воде фенолов и меди (табл. 7).

**Таблица 7.** Уравнения регрессии некоторых показателей ПОЛ в мышцах белуги от уровня загрязнения различными видами токсикантов

Показатели ПОЛ в мышцах	Токсиканты	r	R <sup>2</sup>	p	Уравнение регрессии
СпПОЛ мкмоль/ч на кгм	фенолы	0,68	0,46	<0,05	$Y = 0,017X + 1,448$
	медь	0,58	0,33	<0,05	$Y = 0,048X + 4,511$
МДА мкмоль/кг	фенолы	0,64	0,41	<0,05	$Y = 0,075X + 1,540$
	медь	0,63	0,40	<0,05	$Y = 0,244X + 4,524$

Примечание: r – коэффициент корреляции; R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации; p – уровень значимости

Коэффициент корреляции в этом случае не столь высокий - 0,58-0,68, из чего следует, что на показатели ПОЛ у севрюги оказывает влияние не отдельные токсические вещества, а их комплекс, индуцируя состояние окислительного стресса у исследованных рыб. То же самое можно сказать и про другие виды осетровых рыб. Это демонстрирует высокая степень множественной корреляции и коэффициент детерминации, свидетельствующий о полном совпадении величин параметров ПОЛ от уровня загрязнения токсичными веществами вод Северного Каспия, описываемых уравнениями множественной регрессии. При этом отметим, что во всех вариантах множественной регрессии одним из элементов модели выступают нефтеуглеводороды. Вторыми в этом ряду стоят фенолы, а уже затем, различные виды тяжёлых металлов. Видовые особенности выражаются в проявлениях связи между параметрами ПОЛ и отдельными видами токсикантов или их

сочетанием. Среди тяжёлых металлов можно выделить кадмий, который, видимо, в сочетании с нефтеуглеводородами и фенолами увеличивает токсичность последних. Это следует из того, что его содержание в воде Северного Каспия составляет сотые доли ПДК, в то время как по меди и цинку отмечаются превышения предельно допустимых концентраций.

Реагирует на изменения загрязнения вод Северного Каспия и энергетическая система осетровых рыб. Ответ этой физиологической системы на ухудшение экологической ситуации в море проявляется изменениями активностей ферментов аэробного и анаэробного пути получения энергии в печени и мышцах – цитохромоксидазы (ЦО) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ). Наиболее чутко на воздействие токсикантов отзывается ЦО печени (рис. 2.). Вследствие этого её активность существенно колеблется на протяжении исследуемого периода.

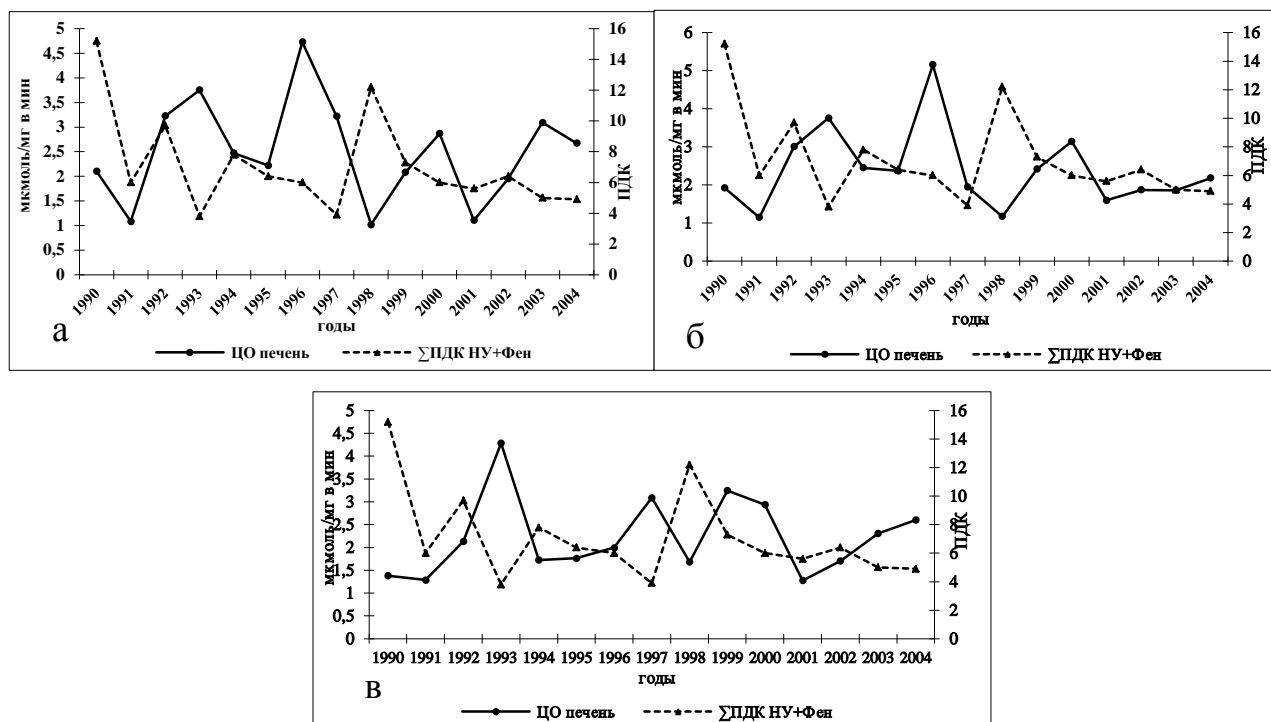


Рис. 2. Межгодовая динамика активности цитохромоксидазы в печени русского осетра (а), севрюги (б), белуги (в) и суммарного уровня загрязнения нефтеуглеводородами и фенолами

Как было показано выше на примере межгодовой динамики интенсивности перекисных процессов, организм осетровых в большей степени реагирует на те загрязнения, уровень которых в воде превышает рыбохозяйственные ПДК, а именно нефтепродукты и фенолы. В годы роста суммарной загрязнённости этими токсикантами водной среды Северного Каспия в большинстве случаев имеет место снижение активности ЦО в печени – как в 1994 и 1998 гг., при однозначном повышении активности фермента в годы снижения загрязнённости водной среды, как в 1993 и 1996-1997 гг. Так, у русского осетра и севрюги в 1994 г. среднегодовая величина активности ЦО в печени снижалась соответственно до  $2,47 \pm 0,26$  и  $2,45 \pm 0,3$

мкмоль/мг в мин, при ещё большем понижении в 1998 г. – до  $1,02 \pm 0,18$  и  $1,18 \pm 0,33$  мкмоль/мг в мин соответственно. У белуги активность этого фермента в печени в эти годы была ещё ниже и не различалась по величине –  $1,7 \pm 0,14$  мкмоль/мг в мин. В тоже время 1993 г. она составляла у осетра и севрюги  $3,75$  мкмоль/мг в мин при ошибке  $\pm 0,37$  и  $\pm 0,11$  соответственно, а в 1996 г. ещё выше –  $4,73 \pm 0,48$  и  $5,15 \pm 0,26$  мкмоль/мг в мин. У белуги среднегодовая активность цитохромоксидазы в 1993 г. была также достаточно высокой –  $4,29 \pm 0,11$  мкмоль/мг в мин, как и в 1997 г. –  $3,09 \pm 0,39$ . Однако если учесть, что активность энергетических ферментов определялась в летний период, то точнее вести сравнительный анализ не со

среднегодовым загрязнением вод Северного Каспия, а уровнем загрязнённости в летний период, обусловленным выносом различных токсических веществ паводком. Считается [1], что основной объём (около 90%) загрязняющих веществ в Северный Каспий поступает с речным стоком при сохранении примерного соотношения

загрязняющих веществ. Это иллюстрирует рис. 3, на котором прослеживается обратная зависимость степени активности цитохромоксидазы в печени в летний период от величины паводка. Чем больше вынос волжскими водами токсических веществ в Северный Каспий, тем ниже активность в печени цитохромоксидазы.

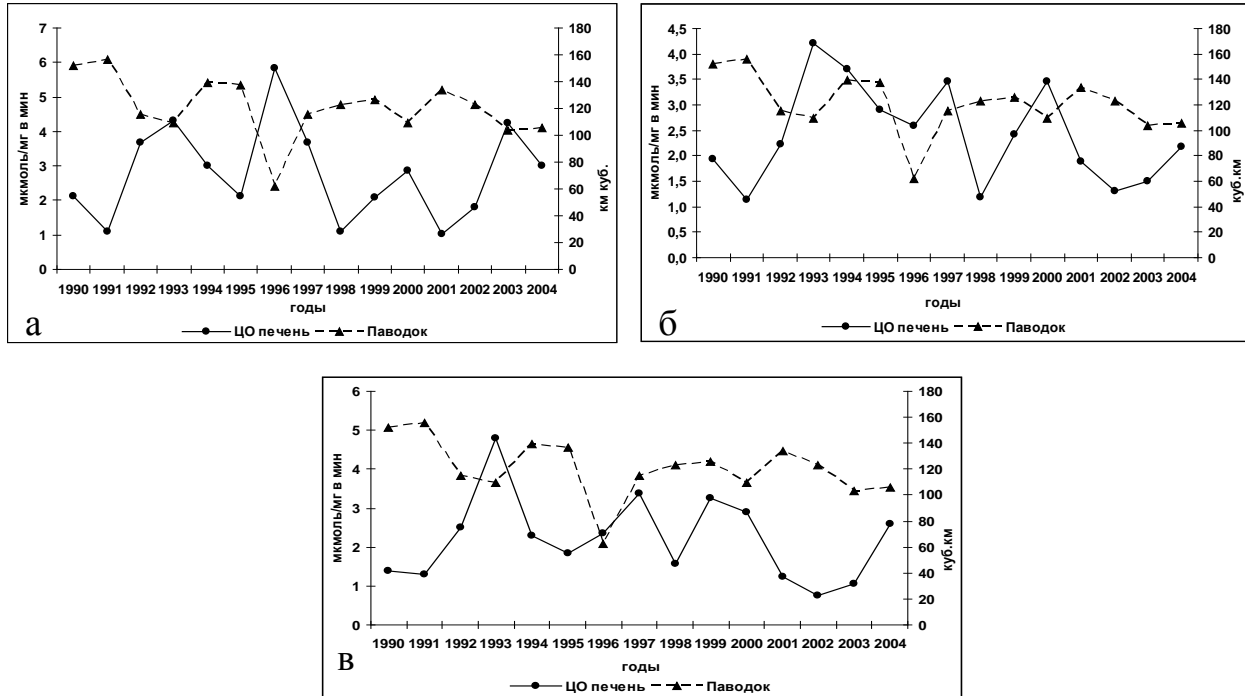


Рис. 3. Межгодовая динамика активности ЦО печени русского осетра (а), севрюги (б) и белуги (в) в летний период при различных объёмах паводка

**Выводы:** индуцирование оксидативного стресса со снижением тканевого дыхания у русского осетра, севрюги и белуги, нагуливающих в Северном Каспии, возникает в летний период вследствие выноса половодьем токсических веществ. Его уровень напрямую зависит от общего загрязнения вод. Однако основу негативного влияния на исследованные виды осетровых составляют нефтеуглеводороды, фенолы и кадмий, усиливающих, по всей видимости, токсичность первых двух, а также, в некоторой степени, медь.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Глумов, И.Ф. Современное состояние экосистем и хозяйственное освоение природных ресурсов Каспийского моря // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». 2001. № 7. С. 64-70.
2. Грубинко, В.В. Перекисное окисление липидов в тканях карпа при действии аммиака / В.В. Грубинко, Ю.В. Леус, О.М. Арсан // Гидробиол. журнал. 1996. 32, № 4. С. 52-57.
3. Грубинко, В.В. Взаимосвязь функционирования системы гемоглобина и перекисного окисления липидов в крови карпа при интоксикации. / В.В. Грубинко, О.С. Смольский, Ю.В. Леус и др. // Док. Нац. АН Украины. 1997. № 2. С. 146-150.
4. Гумидова, Г.П. Некоторые условия спектрофотометрического определения активности СДГ и ЦХО в митохондриях мозга / Г.П. Гумидова, Н.Н. Сорокина // Бюлл. эксперимент. биол. и медиц. 1967, 1. С. 41.
5. Гумидова, Г.П. Некоторые условия спектрофотометрического определения активности СДГ и ЦХО в митохондриях мозга / Г.П. Гумидова, Н.Н. Сорокина // Бюлл. эксперимент. биол. и медиц. 1967. с. 41.
6. Есина, О.И. Действие органических соединений олова на молодь осетровых рыб. // Автореф. дис. канд. биол. наук. – Астрахань. 2006. 23с.
7. Исыев, А.Р. Состояние перекисного окисления липидов и антиокислительной активности сеголеток русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* как показатель загрязнения нефтью окружающей водной среды / А.Р. Исыев, М.М. Габиров, С.А. Гусейнова // Вопр. ихтиол. 2000. 40, № 4. С. 551-559.
8. Катунин, Д.Н. Современное углеводородное загрязнение Каспийского моря и возможные последствия для экосистемы при широкомасштабном развёртывании нефтедобычи на шельфе / Д.Н. Катунин, П.П. Гераскин, Т.Ф. Курочкина и др. // Вестник МАНЭБ. 1999. № 9 (21) С. 33-39.
9. Катунин, Д.Н. Содержание загрязняющих веществ в водоёмах Волго-Каспийского бассейна / Д.Н. Катунин, Т.Ф. Курочкина, О.В. Попова и др. // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. – Астрахань. 2002. С. 37-41.
10. Кесельман, М.Л. Свободнорадикальные процессы, активность антиоксидантных механизмов и структурно-функциональное состояние мембран в тканях рыб при воздействии пиретроидных пестицидов /

- М.Л. Кесельман, С.И. Гвозденко, Л.Я. Кузнецов // В сб.: 1 Конгр. ихтиологов России. Астрахань. сент. 1997. Тез. докл. – Астрахань. 1997. С. 220-221.
11. Лукьяненко, В.И. Общая ихтиотоксикология. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 320 с.
  12. Меерсон, Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика. – М.: Наука, 1981. 278 с.
  13. Методы биологии развития. – М.: Наука, 1974. С. 323-363.
  14. Рылина, О.Н. Эколого-токсикологический мониторинг Волго-Каспийского бассейна / О.Н. Рылина, О.В. Попова, О.П. Попов и др. // В сб.: Рыбохозяйственные исследования на Каспии. – Астрахань, 2003. С. 54-74.
  15. Строев, Е.А. Практикум по биологической химии / Е.А. Строев, В.Г. Макарова. – М.: Высшая школа, 1986. С. 211-214.
  16. Vano, Y. Mercury induced time-dependent alteration in lipid profiles and lipid peroxidation in different body organs of catfish *Heteropneustes Fossilis* / Y. Vano, M. Hasan // J. Environ. Sci. Health. 1989. B24. P.145-166.
  17. Gabryelak, T. The effect of paraquat on the peroxide metabolism enzymes in erythrocytes of freshwater fish species / T. Gabryelak, J. Klekot // Comp. Biochem. Physiol. 1985, B 77. P. 583-587.
  18. Radi, A.A.R. Effects of metal ions on the antiokxidant enzyme activities, protein contents and lipid peroxidation of carp tissues / A.A.R. Radi, B. Matkovics // Comp. Biochem. Physiol. 1988. № 90. P. 69-72.
  19. Thomas, P. Effekt of cadmium on glutatione content of mullet (*Mugil cephalus*) tissues. In *Physiological Mechanisms of Marine Pollutant Toxicity* / P. Thomas, H.W. Wofford, J.M. Neff // Academic Press. New York. 1982. P. 109-125
  20. Wilhelm, F.D. The effect of pulp mill effluents on fish antioxidants. II. Final effluents / F.D. Wilhelm, C.H.L. Soares, R.C. Pedrosa et al. // Abstr. 9th Bien. Meet. Int. Soc. Free Radic. Res. "Free Radic. Res. 21st Century", Sao Paulo, 7-11 Sept., 1998. Rev. farm. e bioquim. Univ. Sao Paulo. 1998. 34, Supl. N 1. P. 136.

## PETROLIUM POLLUTION OF CASPAIN SEA AS ONE OF THE FACTORS, INITIATED THE OXIDATIVE STRESS IN STURGEON

© 2012 P.P. Geraskin<sup>1</sup>, E.N. Ponomareva<sup>1</sup>, G.F. Metallov<sup>1</sup>, M.L. Galaktionova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>South Scientific Center of RAS

<sup>2</sup>Caspian branch of Shirshov Institute of Oceanology RAS

The dependence of rate of lipid peroxidation in muscles and liver from the water pollution in North Caspian Sea with different pollutants was analyzed on the basis of long term materials. It is also shown their influence on the cytochrome-oxidase activity – the enzyme, controlling the rate of tissue respiration.

Key words: *lipid peroxidation, regressive analyze, cytochrome-oxidase activity, pollutants*

---

*Petr Geraskin, Candidate of Biology, Leading Research Fellow at the Laboratory of Water Bioresources and Aquaculture. E-mail: PPG@mail.ru*

*Elena Ponomareva, Doctor of Biology, Professor, Chief of Department of Water Biological Resources of South Seas Basins. E-mail: aqua-group@yandex.ru*

*Gennadiy Metallov, Doctor of Biology, Leading Research Fellow at the Laboratory of Water Bioresources and Aquaculture. E-mail: Genmet@mail.ru*

*Maya Galaktionova, Research Fellow. E-mail: Galakti\_m@mail.ru*