

**АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ И
БИОТРАНСФОРМАЦИИ ПОЛЛЮТАНТОВ У ПОЛОСАТОЙ КАМБАЛЫ
LIOPSETTA PINNIFASCIATA ИЗ АМУРСКОГО И УССУРИЙСКОГО
ЗАЛИВОВ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

© 2012 г. С.А. Ирейкина, О.Н. Лукьянова

*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
Владивосток 690950*

Поступила в редакцию 30.03.2011 г.

Проведено сравнительное исследование активности молекулярных биомаркеров в печени полосатой камбалы *Liopsetta pinnifasciata* из Амурского и Уссурийского заливов в летний период. Определены следующие параметры: активность глутатион-S-трансферазы, супероксид-дисмутазы, каталазы, содержание восстановленного глутатиона и уровень перекисного окисления липидов.

Ключевые слова: Амурский залив, Уссурийский залив, загрязнение, полосатая камбала, молекулярные биомаркеры.

Японское море богато биоресурсами, в том числе промысловыми видами и объектами любительского лова. Однако в некоторых прибрежных районах с развитой промышленной инфраструктурой их запасы находятся под угрозой вследствие антропогенного загрязнения. Амурский и Уссурийский заливы, которые входят в зал. Петра Великого Японского моря как заливы второго порядка, относятся к наиболее освоенным в хозяйственном отношении, и имеют большое экономическое и рекреационное значение для Приморского края. В заливах ведется активное судоходство и рыболовство, на берегах имеются порты, судоремонтные и другие предприятия. В долинах рек, впадающих в заливы, развито сельское хозяйство. В Амурский залив впадает р. Раздольная, вторая по величине (после р. Туманной) река южного Приморья, берущая начало в Китае. Большая часть сточных вод поступает в заливы неочищенными. Так, по оценкам экспертов, на протяжении последних лет объем сточных вод, поступающих в Амурский залив, составлял ежегодно около 70 млн. м³, из них более 80% неочищенных и недостаточно очищенных (Нигматулина, 2007). При этом со сточными водами поступает около 45 000 т загрязняющих веществ. Для Уссурийского залива эти показатели значительно меньше. К примеру, в 2005 г. общий объем сбрасываемых сточных вод составил более 16 млн. м³, из них более 70% без очистки и недостаточно очищенных (Лукьянова и др., 2009). Таким образом, Уссурийский залив загрязнен в меньшей степени, по сравнению с Амурским, в первую очередь благодаря большому объему водных масс и возможности свободного гидрообмена с открытой частью зал. Петра Великого (рис. 1). В то же время, на состояние прибрежной зоны Уссурийского залива оказывал влияние эксплуатировавшийся до недавнего времени полигон твердых бытовых отходов, размещенный на его западном побережье.

Экологические риски, возникающие в связи с загрязнением водной среды, требуют изучения состояния биоты в целом и промысловых видов в частности, а также экологических факторов, воздействующих на них.

Применение молекулярных биомаркеров состояния водных организмов в качестве индикаторов воздействия загрязнения интенсивно развивается в последние

десятилетия. В основе этого методологического подхода лежит использование биохимических и физиологических реакций, которые предшествуют видимым изменениям на более высоких уровнях биологической организации, т.е. являются индикаторами первых стадий токсичности и патологии (McCarty, Shugart, 1990; Лукьянова, 2001; Wu et al., 2005).

Рыбы признаны удобными и репрезентативными объектами для биомониторинга, поскольку отражают интегральное состояние относительно обширных акваторий (Collier et al., 1996). Однако в России подобные исследования немногочисленны (Немова, Высоцкая, 2004; Физиолого-биохимические..., 2005; Chuiko et al., 2007). Предпочтительными являются виды рыб, не совершающие значительных миграций, а также придонные, обитающие и питающиеся в тесном контакте с грунтами, где происходит аккумуляция многих загрязняющих веществ. Полосатая камбала *Liopsetta pinnifasciata* соответствует этим требованиям, т.к. приурочена к прибрежным мелководьям и образует в Амурском и Уссурийском заливах стабильные локальные скопления (Вдовин, Швыдкий, 2000). Этот вид используется в гистопатологических (Сяпина и др., 2006; Дуркина, Черкасова, 2007) и экотоксикологических исследованиях (Боярова и др., 2007). Кроме того, данный вид является объектом промысла, поэтому изучение влияния загрязнения на его метаболизм имеет практическое значение.

Целью работы являлась оценка молекулярных биомаркеров антиоксидантной системы и процессов биотрансформации в печени полосатой камбалы, и сравнение этих параметров у рыб из Амурского и Уссурийского заливов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Рыб отлавливали донным тралом в центральных районах Амурского и Уссурийского заливов в июне и августе 2005 г., а также в августе 2006 г. Районы отлова рыб приведены на рисунке 1.



Рис. 1. Карта-схема района работ. ☆районы отлова полосатой камбалы.

Fig. 1. A sketch-map of the research area. ☆areas of the barfin plaice catching.

Непосредственно после отлова у рыб препарировали печень, промывали 0,9% раствором NaCl и замораживали при -20 °С. Анализ проводили на следующий день. Печень гомогенизировали, центрифугировали, супернатант использовали для определения содержания белка и других биохимических параметров. Все измерения проводили на спектрофотометре Shimadzu UV-3100S (Япония).

Концентрацию белка определяли с бромфеноловым синим (Greenberg, Gaddock, 1982). Содержание восстановленного глутатиона (GSH) измеряли в реакции с 5,5'-дитио-бис-(2-нитробензойной кислотой) (Moron et al., 1979). Интенсивность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) анализировали по количеству образовавшегося малонового диальдегида (МДА) – конечного продукта окислительной дегградации липидов (Porter et al., 1976). Активность супероксиддисмутазы (СОД) определяли в реакции хлористого марганца с β-меркаптоэтанолом по подавлению образования супероксидных радикалов (Paoletti et al., 1986). Конъюгирующую активность глутатион-S-трансферазы (GST) измеряли в реакции с субстратом 1-хлор-2,4-динитробензолом по скорости образования GS-2,4-динитробензола – продукта реакции конъюгации с глутатионом (Habig et al., 1974). Активность каталазы определяли в реакции перекиси водорода с молибдатом аммония (Королук и др., 1988).

Вычисляли средние значения и стандартные ошибки средних значений. Для определения достоверности различий между выборками использовали U-критерий Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многие загрязняющие вещества способны вызывать окислительный стресс у гидробионтов, в том числе рыб. Эта концепция, основанная на формировании свободных радикалов, повреждающих клеточные структуры, и ответной реакции антиоксидантной системы, в последние десятилетия занимает одно из ведущих мест в экотоксикологии (Livingstone, 1993).

Активность антиоксидантной системы и процессов биотрансформации поллютантов является достаточно чувствительным индикатором функционального состояния организмов и в определенной степени – среды их обитания (Stien et al., 1998). Определение активности ферментов биотрансформации и антиоксидантной защиты, а также уровня пероксидации липидов было использовано многими авторами для ранней индикации состояния рыб морских и пресноводных экосистем в условиях загрязнения (Овен и др., 2000a, 2000b; Gul et al., 2004; Napierska, Podolska, 2005).

Как показано нами ранее (Алешко, Лукьянова, 2008), предпочтительным периодом для исследования молекулярных биомаркеров у полосатой камбалы является лето. Так как данный вид нерестится в январе-феврале, в летний период не происходит интенсивных процессов, связанных с созревaniem гонад, и наблюдаемые изменения окислительного метаболизма определяются в наибольшей степени экологической обстановкой в исследуемых акваториях. Индивидуальные различия активности биомаркеров невелики: для выборки из 12 рыб одной размерно-весовой группы и стадии зрелости ошибка среднего составляла не более 10%, за исключением содержания восстановленного глутатиона – до 30%. Достоверные половые различия выявлены только для активности супероксиддисмутазы.

Полученные данные позволяют сравнить состояние метаболизма рыб в один и тот же сезон за два года.

Активность антиоксидантных ферментов в печени камбал в летний период была достаточно высока. Активность каталазы у рыб из двух акваторий в 2005 г. значительно различалась (рис. 2А). У рыб, выловленных в Амурском заливе в июне, активность фермента была выше на 26% и составляла в среднем 31 ед. акт./мин./мг белка, тогда как в Уссурийском заливе – 23 ед. акт. В августе активность этого биомаркера у камбалы из Амурского залива составляла 19 ед. акт. и была ниже на 40%, по сравнению с рыбами из Уссурийского залива (31 ед. акт.). В августе 2006 г. значения активности биомаркера по двум заливам были близки, составив в среднем 20 ед. акт./мг белка.

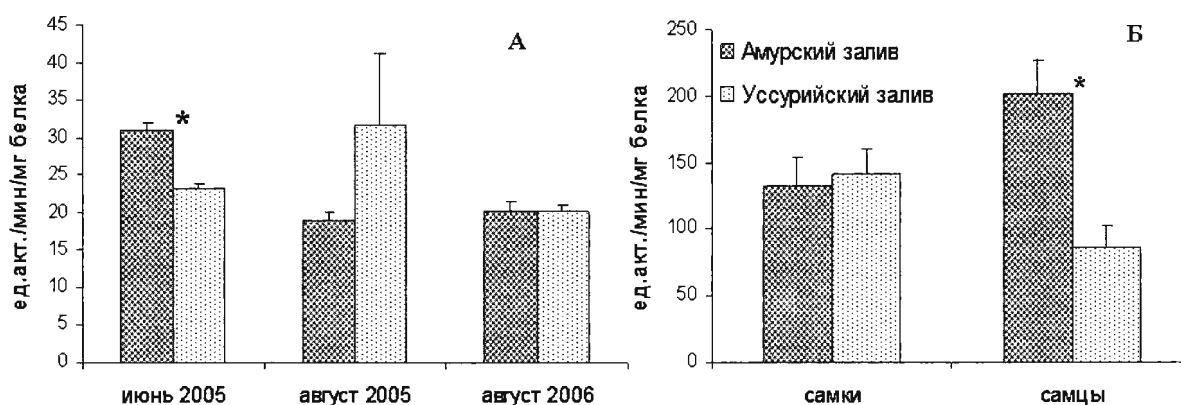


Рис. 2. Активность каталазы (А) и супероксиддисмутазы (Б) в печени полосатой камбалы из Амурского и Уссурийского заливов в летний период 2005-2006 гг. (n=10-12). * – достоверные различия между рыбами, выловленными в разных заливах в один сезон.

Fig. 2. Activity of catalase (A) and superoxide dismutase (Б) in the liver of the barfin plaice *Liopsetta pinnifasciata* from Amurskiy and Ussuriyskiy Bays in summer of 2005-2006 years (n=10-12). * – significant differences between fish caught in different bays contemporaneously.

Активность СОД в печени полосатой камбалы из двух заливов была определена только в августе 2006 г., результаты представлены на рисунке 2Б. Установлена достоверно более высокая активность фермента у самцов из Амурского залива по сравнению с самками. Значение показателя у самок из двух заливов находилась в пределах 120-160 ед./мин./мг белка. У самцов активность достоверно различалась – у рыб из Амурского залива она была более чем в два раза выше и составляла 202 и 86 ед. соответственно.

Супероксиддисмутаза нейтрализует супероксид-анион $O_2^{\cdot-}$, который продуцируется в клетках при воздействии токсикантов или других неблагоприятных факторов. В результате реакции дисмутации $O_2^{\cdot-}$ образуется перекись водорода, которая повреждает клетки и участвует в цепных окислительных реакциях. Каталаза разлагает перекись с образованием воды. Согласованная работа этих ферментов поддерживает концентрацию активных форм кислорода на минимальном уровне (Кесельман и др., 1997).

Достоверное увеличение активности СОД показано на примере морского ерша *Scorpena porcus* из наиболее загрязненной бухты вблизи Севастополя (Овен и др., 2000а). Этот фермент рекомендован авторами как наиболее объективно отражающий физиологическое состояние рыб в разных условиях антропогенного

прессинга. Сходные результаты получены для черноморской спикары *Spicara flexuosa* из этих же районов (Овен и др., 2000б), однако для СОД различия были статистически не достоверны. Это подтверждает сложность интерпретации результатов по молекулярным биомаркерам у организмов из природных популяций в акваториях с различным уровнем загрязнения.

Одним из основных компонентов антиоксидантной системы является трипептид глутатион. В условиях загрязнения его концентрация в клетках возрастает, отражая участие в защитных реакциях (Zhang et al., 2003).

Содержание восстановленного глутатиона в печени полосатой камбалы значительно варьировало, однако в августе 2006 г. также достоверно не различалось у рыб из двух заливов, составив в среднем 9 мкг GSH/мг белка.

Глутатион, помимо антиоксидантной роли, также входит в состав глутатион-зависимых ферментов. Глутатионовая система является мощным механизмом защиты организма от окислительного стресса. Она включает различные ферменты, в том числе глутатион-S-трансферазу. Поступающие в организм поллютанты являются субстратами GST, и в ходе реакции с глутатионом превращаются в менее токсичные водорастворимые вещества, т.е. происходит их биотрансформация. По мнению некоторых авторов, GST играет защитную роль при снижении активности антиоксидантных ферментов и повышенной чувствительности животных к окислительному стрессу (Sheehan, Power, 1999). Как правило, в печени отмечаются высокие значения активности GST, что отражает активное участие этого органа в процессах биотрансформации (Gul et al., 2004; Назарова, Кузьмина, 2009).

Активность GST у полосатой камбалы из Амурского залива была повышена во все периоды наблюдений по сравнению с Уссурийским заливом (рис. 3А). В июне активность фермента у рыб в Амурском заливе была выше на 26% и составляла 142 нмоль/мин./мг белка, тогда как в Уссурийском – 104 нмоль (различия достоверны). В августе активность фермента у камбал из Амурского залива также была несколько выше (в среднем на 10%).

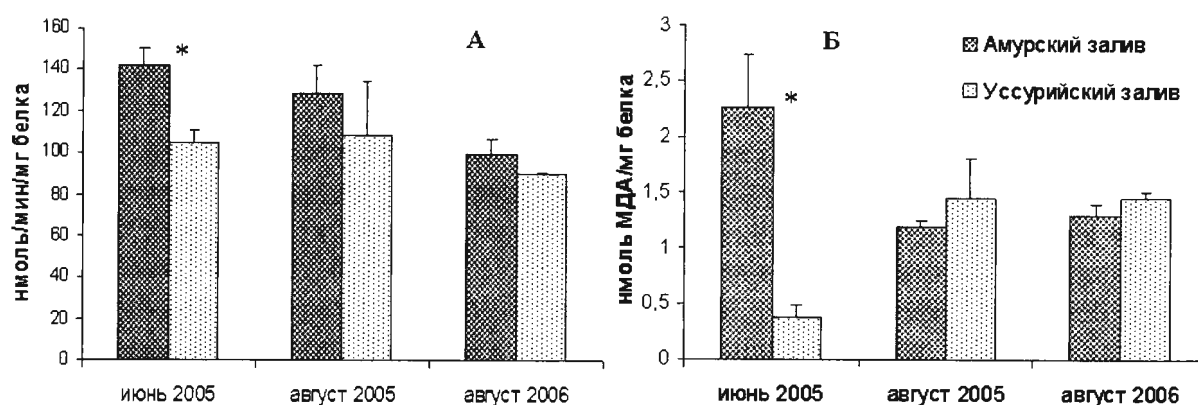


Рис. 3. Активность глутатион-S-трансферазы (А) и уровень перекисного окисления липидов (Б) в печени полосатой камбалы из Амурского и Уссурийского заливов в летний период 2005-2006 гг. (n=10-12). * – достоверные различия между рыбами, выловленными в разных заливах в один сезон.

Fig. 3. Activity of glutathione-S-transferase (А) and lipid peroxidation level (Б) in the liver of the barfin plaice *Liopsetta pinnifasciata* from Amurskiy and Ussuriyskiy Bays in summer of 2005-2006 years (n=10-12). * – significant differences between fish caught in different bays contemporaneously.

Одной из причин повышения активности GST в начале лета может являться сезонное увеличение поступления органических поллютантов в воды залива, что способствует интенсификации процессов биотрансформации у рыб (Di Giulio et al., 1989). Согласно среднесезонным данным, в июне, после весеннего паводка, наблюдается значительное увеличение водного стока р. Раздольная (Савельева и др., 2005). С паводковыми явлениями, очевидно, связано увеличение выноса загрязняющих веществ в центральную часть Амурского залива, где полосатая камбала обитает летом в период нагула (Вдовин, Швыдкий, 2000).

Сходные данные по увеличению активности GST в печени были получены и для обыкновенного лаврака *Dicentrarchus labrax* из внутренних районов Каннского залива, куда сбрасываются промышленные сточные воды, по сравнению с открытыми районами Средиземного моря (Stien et al., 1998). Достоверное повышение активности GST также было выявлено в печени волнистого горбыля *Micropogonias undulatus* из наиболее загрязненных участков залива Галвестон, где общее содержание полиароматических углеводов в донных осадках достигает 1 000 нг/г и более (Willett et al., 1997).

Защитные свойства антиоксидантных ферментов при хроническом загрязнении могут быть недостаточны для нейтрализации свободнорадикального окисления. В этом случае развиваются токсические эффекты на молекулярном уровне. Это выражается, в частности, в усилении процессов перекисного окисления липидов, одним из конечных продуктов которых является малоновый диальдегид. Как правило, при неблагоприятном воздействии уровень ПОЛ повышается (Livingstone, 1993; Кесельман и др., 1997).

Уровень перекисного окисления липидов у полосатой камбалы из Амурского залива в июне был значительно повышен и достигал 2,7 нмоль МДА/мг белка, тогда как у рыб из Амурского залива – 0,4 нмоль (рис. 3Б). Однако в августе рыбы из двух акваторий по этому показателю достоверно не различались. В этот период содержание МДА в клетках печени составляло в среднем 1,3 нмоль/мг белка. Повышение температуры обычно стимулирует процессы перекисного окисления липидов у рыб (Руднева, 2003). Однако в конце лета повышения уровня МДА в печени полосатой камбалы не наблюдалось, что говорит об эффективном функционировании антиоксидантной системы в этот период.

Молекулярные биомаркеры антиоксидантной защиты (каталаза, СОД) и биотрансформации (GST) реагируют на присутствие в среде токсичных веществ (Goksøyr et al., 1996; Zhang et al., 2003) и отражают протекание защитных реакций в организме животных. Поллютанты различной природы в настоящее время присутствуют в абиотических компонентах и биоте заливов. Хлорорганические пестициды (ДДТ и гексахлорциклогексан – ГХЦГ) в последние десятилетия обнаруживаются во всех районах Амурского залива (Белан и др., 2007). В ходе многолетних наблюдений концентрации этих поллютантов значительно варьировали, однако наибольшее загрязнение ими донных отложений было отмечено во внутренней части Амурского залива, прилегающей к городу Владивостоку. Так, содержание ДДТ и ГХЦГ в печени полосатой камбалы из Амурского залива составляло 200-250 нг/г сырой массы, тогда как у рыб из Уссурийского залива 100-120 нг (Боярова и др., 2007).

Нефтепродукты также являются одними из приоритетных загрязняющих веществ в прибрежных акваториях зал. Петра Великого. Так, содержание

нефтеуглеводородов (НУ) в воде некоторых внутренних районов Амурского залива достигало 0,45 мг/л, что превышает предельно допустимую концентрацию в 9 раз. Количество НУ в грунтах также достаточно велико, до 70 мг/кг, что говорит о хроническом характере загрязнения (Черняев и др., 2006). В Уссурийском заливе на большей части акватории концентрация НУ в воде не превышает 0,05 мг/л, однако в отдельных бухтах также достигает значительных величин (Лукьянова и др., 2009).

Амурский и Уссурийский заливы значительно различаются и по загрязненности тяжелыми металлами, которые также могут вызывать окислительный стресс (Goksøyr et al., 1996). Современные уровни содержания свинца в донных отложениях Амурского залива составляют 17,5-155,0 мг/кг сух. массы, кадмия – 0,02-2,0 мг/кг. В Уссурийском заливе – 3,8-25,0 и 0,01-0,12 соответственно (Ковековдова, Симоконь, 2004). Согласно этим результатам, загрязненность токсичными элементами отдельных районов достигает уровней, способных оказать негативный эффект на биоту.

Одним из наиболее ранних проявлений влияния загрязнения на биоту является активизация системы биотрансформации и антиоксидантной защиты гидробионтов. Однако в настоящее время загрязнение достигло уровня, когда его эффекты проявляются и на более высоких уровнях биологической организации. В ряде исследований показано наличие патологических изменений в органах полосатой камбалы из Амурского залива. В частности, у рыб выявлены аномалии оогенеза, патологии печени и гонад, а также нарушения морфофункционального состояния интерреналовой железы, которые авторы связывают с действием загрязняющих веществ (Сяпина и др., 2006; Дуркина, Черкасова, 2007).

Таким образом, активность молекулярных биомаркеров окислительного стресса и биотрансформации в начале лета была достоверно повышена у полосатой камбалы из Амурского залива по сравнению с менее загрязненным Уссурийским заливом. Однако в августе у рыб из данных акваторий наблюдаются близкие значения исследованных биохимических параметров. Это указывает на сходное состояние морской среды в различных прибрежных районах в этот сезон. Об этом говорят и результаты санитарно-микробиологической оценки морских прибрежных вод, проведенной в летне-осенний период 2005 г. (Дегтярева, Бузолева, 2010). Согласно полученным данным, в июле и августе все исследованные пляжные территории, как в Амурском, так и в Уссурийском заливе, характеризовались как полисапробные, т.е. зоны сильного загрязнения. Это обусловлено повышением температуры, оказывающим существенное влияние на интенсивность биологических процессов в водоеме, а также сезонным увеличением антропогенной нагрузки. В сентябре понижение температуры способствует снижению численности энтеробактерий в морской воде. При этом микрофлора естественного фона окружающей среды активируется и оказывает ингибирующее действие на рост и развитие патогенных бактерий, что является основой самоочищения водоема.

Отмеченный диапазон исследованных биохимических показателей в печени полосатой камбалы из Амурского и Уссурийского заливов соответствует имеющимся в этих акваториях уровням комплексного загрязнения. Следует особо отметить, что в подобных экотоксикологических исследованиях необходимо анализировать активность нескольких ферментов и других биохимических параметров, которые только в комплексе позволяют выявить ответные реакции рыб, обитающих в неблагоприятной среде.

Полосатая камбала является важным объектом любительского лова и ее запасы в заливе Петра Великого достаточно стабильны (Вдовин, Швыдкий, 2000). Однако длительное воздействие хронического загрязнения постепенно приводит к нарушению метаболизма и патологическим изменениям, что может снизить репродуктивный потенциал и выживаемость организмов. Совокупность исследованных молекулярных биомаркеров позволяет получить объективную информацию о функциональном состоянии индикаторных видов рыб в импактных районах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алешко С.А., Лукьянова О.Н. Сезонные изменения некоторых параметров биотрансформации и антиоксидантной системы в печени полосатой камбалы *Liopsetta pinnifasciata* из Амурского залива Японского моря // Биология моря. 2008. №2. С. 148-151.

Белан Т.А., Мощенко А.В., Лишавская Т.С. Долговременные изменения уровня загрязнения морской среды и состава бентоса в заливе Петра Великого. В кн.: Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 50-74.

Боярова М.Д., Лукьянова О.Н., Черняев А.П. и др. Стойкие хлорорганические пестициды в водных экосистемах Дальнего Востока России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2007. Т. 2. С. 31-35.

Вдовин А.Н., Швыдкий Г.В. Распределение камбал (Pleuronectidae) в заливе Петра Великого в период гидрологического лета (июль-сентябрь) // Изв. ТИНРО. 2000. Т. 127. С. 122-136.

Дегтярева В.А., Бузолева Л.С. Оценка санитарно-микробиологического состояния прибрежных вод города Владивостока // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 163. С. 349-354.

Дуркина В.Б., Черкасова И.В. Аномалии оогенеза у полосатой камбалы *Pleuronectes pinnifasciatus* из Амурского залива Японского моря // Изв. РАН. Сер. биол. 2007. №5. С. 591-597.

Кесельман М.Л., Милютин Н.П., Кузнецова Л.Я., Ракитский В.Н. Свободнорадикальные процессы в механизме действия и диагностике пестицидной интоксикации ихтиофауны. Ростов-на-Дону: Гефест, 1997. 120 с.

Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В. Тенденции изменения химико-экологической ситуации в прибрежных акваториях Приморья. Сб. Токсичные элементы в донных отложениях и гидробионтах // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 137. С. 310-320.

Королук М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.С. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. 1988. №1. С. 16-19.

Лукьянова О.Н. Молекулярные биомаркеры. Владивосток: изд-во ДВГАЭУ, 2001. 196 с.

Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Нигматулина Л.В. и др. Комплексная химико-экологическая оценка состояния Уссурийского залива (Японское море) // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. №5. С. 615-622.

Назарова Е.А., Кузьминова Н.С. Некоторые морфофизиологические и биохимические показатели средиземноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* // Вопросы рыболовства. 2009. Т. 10. №4(40). С. 788-798.

Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука, 2004. 215 с.

Нигматулина Л.В. Оценка антропогенной нагрузки береговых источников на Амурский залив (Японское море) // Вестник ДВО РАН. 2007. №1. С. 73-76.

Овен Л.С., Руднева И.И., Шевченко Н.Ф. Использование биомаркеров для оценки состояния черноморской спикары *Spicara flexuosa* (Centracanthidae) // Вопросы ихтиологии. 2000а. Т. 40. №6. С. 810-815.

Овен Л.С., Руднева И.И., Шевченко Н.Ф. Ответные реакции морского ерша *Scorpena porcus* (Scorpaenidae) на антропогенное загрязнение // Вопросы ихтиологии. 2000б. Т. 40. №1. С. 75-78.

Руднева И.И. Эколого-физиологические особенности антиоксидантной системы рыб и процессов перекисного окисления липидов // Успехи соврем. биол. 2003. Т. 123. №4. С. 391-400.

Савельева Н.И., Аникиев В.В., Дударев О.В. Изменчивость стратификации вод в северной части Амурского залива Японского моря в летний период. Сб. Состояние морских экосистем, находящихся под влиянием речного стока. Владивосток: Дальнаука, 2005. С. 41-52.

Ясина И.Г., Высоцкая В.Г., Швед Н.А. Гистопатологические изменения в печени и гонадах полосатой камбалы *Pleuronectes pinnifasciatus* из Амурского залива // Мат. междунар. конф. «Экологические проблемы использования прибрежных морских акваторий». Владивосток, 2006. С. 188-191.

Физиолого-биохимические и генетические исследования ихтиофауны азово-черноморского бассейна / Методическое руководство. Ростов-на-Дону: Эверест, 2005. 100 с.

Черняев А.П., Лукьянова О.Н., Черкашин С.А. Распределение нефтяных углеводородов и оценка состояния биоты в Амурском заливе (Японское море) // Экол. химия. Т. 15. №1. 2006. С. 28-38.

Chuiko G.M., Tillitt D.E., Zajicek J.L. et al. Chemical contamination of the Rybinsk Reservoir, northwest Russia: Relationship between liver polychlorinated biphenyls (PCB) content and health indicators in bream (*Abramis brama*) // Chemosphere. 2007. V. 67. №3. Pp. 527-536.

Collier T.K., Krone C.A., Krahn M.M. et al. Petroleum exposure and associated biochemical effects in subtidal fish after the Exxon Valdez oil spill. American Fisheries Society Symposium 18. 1996. Pp. 671-683.

Di Giulio R.T., Washburn P.C., Wenning R.J. et al. Biochemical responses in aquatic animals: a review of determinants of oxidative stress // Environ. Toxicol. Chem. 1989. V. 8. Pp. 1103-1123.

Goksøyr A., Beyer J., Egaas E. et al. Biomarker responses in flounder (*Platichthys flesus*) and their use in pollution monitoring // Mar. Pollut. Bull. 1996. V. 33. Pp. 36-45.

Greenberg C.G., Gaddock P.R. Rapid single-step membrane protein assay // Clin. Chem. 1982. V. 28. №7. Pp. 1725-1726.

Gul S., Belge-Kurutas E., Yildiz E. et al. Pollution correlated modifications of liver antioxidant systems and histopathology of fish (Cyprinidae) living in Seyhan Dam Lake, Turkey // Environ. Internat. 2004. V. 30. Pp. 605-609.

Habig W.H., Pabst M.J., Jacoby W.B. Glutathion-S-transpherase: the first step in mercapturic acid formation // J. Biol. Chem. 1974. V. 249. Pp. 7130-7139.

Livingstone D.R. Biotechnology and pollution monitoring: use of molecular biomarkers in the aquatic environment // J. Chem. Tech. Biotechnol. 1993. V. 57. Pp. 195-211.

McCarty J.F., Shugart L.R. Biomarkers of environmental contamination.- Boca Raton: Lewis Publ., 1990. 457 p.

Moron M.S., Pepierre J.W., Monnervick B. Level of glutathione, glutathione reductase and glutathione-S-transferase activities in rat lung and liver // Biochem. Biophys. Acta. 1979. V. 582. Pp. 67-78.

Napierska D., Podolska M. Biomarkers of contaminant exposure: results of a field study with flounder (*Platichthys flesus*) from the southern Baltic Sea // Mar. Pollut. Bull. 2005. V. 50. Pp. 758-767.

Paoletti F., Aldinucci D., Mocali A., Caparrini A. A sensitive spectrophotometric method for the determination of superoxide dismutase activity in tissue extracts // Analyt. Biochem. 1986. V. 154. №2. Pp. 536-541.

Porter N.A., Nolon Y., Ramdas L. Cyclic peroxides and thiobarbituric assay // Biochem. Biophys. Acta. 1976. V. 441. Pp. 506-512.

Sheehan D., Power A. Effects of seasonality on xenobiotic and antioxidant defence mechanisms of bivalve mollusks // Comp. Biochem. Physiol. 1999. V. 123C. Pp. 193-199.

Stien X., Percic Ph., Gnassia-Barelli M. et al. Evaluation of biomarkers in caged fishes and mussels to assess the quality of waters in a bay of the NW Mediterranean Sea // Environ. Pollution. 1998. V. 99. Pp. 339-345.

Willett K.L., McDonald S.J., Steinberg M.A. et al. Biomarker sensitivity for polynuclear aromatic hydrocarbon contamination in two marine fish species collected in Galveston Bay, Texas // Environ. Toxicol. Chem. 1997. V. 16. Pp. 1472-1479.

Wu R., Siu W., Shin P. Induction, adaptation and recovery of biological responses: Implications for environmental monitoring // Mar. Pollut. Bull. 2005. V. 51. Pp. 623-634.

Zhang J.F., Shen H., Xu T.L. et al. Effects of long-term exposure of low-level diesel oil on the antioxidant defense system of fish // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2003. V. 71. Pp. 234-239.

ANTIOXIDANT SYSTEM AND BIOTRANSFORMATION ACTIVITY IN BARFIN PLAICE FROM AMURSKY AND USSURIYSKY BAYS (JAPAN/EAST SEA)

© 2012 y. S.A. Ireykina, O.N. Lukyanova

Pacific Research Fisheries Centre, Vladivostok

Biomarker approach is as useful tool for assessing the impacts of pollution on marine organisms. The activity glutathione-S-transferase, superoxide dismutase and catalase, lipid peroxidation level and reduced glutathione content were evaluated in the liver of barfin plaice (*Liopsetta pinnifasciata*) from near-shore waters of the Amursky and Ussuriysky bays in summer. Our results show that pollution leads the activation of cellular defense mechanisms. The activity of antioxidant system provides an adaptation of fish to the polluted environment.

Key words: Amursky bay, Ussuriysky bay, pollution, *Liopsetta pinnifasciata*, molecular biomarkers.