

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕЧЕНИ БЫЧКА-КРУГЛЯКА *NEOGOBIOUS MELANOSTOMUS* (PALLAS, 1814) ИЗ ДВУХ РАЙОНОВ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ

© 2022 г. Т. Б. Сигачева¹, *, Е. Н. Скуратовская¹, С. В. Куршаков¹, М. С. Рыжилов²

¹Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь 299011, Россия

²Научно-производственное объединение “Собский рыболовный завод”, Ямало-Ненецкий автономный округ, пгт Харп 629420, Россия

*e-mail: mtk.fam@mail.ru

Поступила в редакцию 03.12.2020 г.

После доработки 19.03.2021 г.

Принята к публикации 01.04.2021 г.

По результатам исследования комплекса биохимических показателей печени бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) (активность аминотрансфераз, холинэстеразы, а также антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы и каталазы, содержание окисленных форм белков, ТБК-активных продуктов и альбумина) дана биоиндикационная оценка двух районов Таганрогского залива Азовского моря. Окислительное повреждение гепатоцитов и перестройки белкового метаболизма, обнаруженные в печени бычка-кругляка из района Белосарайской косы, свидетельствуют о неблагоприятном экологическом состоянии этой акватории.

Ключевые слова: бычок-кругляк, печень, комплексное загрязнение, биомаркеры, Таганрогский залив, Азовское море

DOI: 10.31857/S0134347522010119

Таганрогский залив – самый мелководный (средняя глубина 4.9 м) и большой в Азовском море. Его западная граница проходит по линии, соединяющей косы Белосарайская и Долгая, на востоке он ограничен дельтой р. Дон (Неграфонтова, 2000).

Особые гидролого-гидрохимические характеристики Таганрогского залива создают оптимальные условия для нагула многих ценных промысловых проходных и полупроходных видов рыб, включая осетровых (Селифонова, 2015). Однако с промышленными и бытовыми стоками крупных городов, расположенных на берегах залива, а также с речными стоками (преимущественно Дона и Кальмиуса) в Таганрогский залив попадает широкий спектр загрязняющих веществ, приводящих к дестабилизации экосистемы и снижению ее биологической продуктивности. Особенно напряженная экологическая ситуация сложилась рядом с городами Мариуполь, Таганрог и на взморье р. Дон (Неграфонтова, 2000).

Другая причина современной дестабилизации экосистемы Азовского моря – формирование участков дна с высоким содержанием органического вещества, способствующего эпизодическому

образованию лабильных (кислото-растворимых) сульфидов (Сорокин, Бурцацкий, 2007). Накопление лабильных сульфидов может приводить к развитию придонной гипоксии и гибели зообентоса, так как сульфиды являются сильнейшим цитохромным ядом, токсичным для донной фауны.

Высокая экономическая значимость Таганрогского залива как рыбохозяйственного водоема, а также сложный комплекс действующих антропогенных и природных факторов определяют необходимость оценки экологического состояния залива с точки зрения комфортности для биоты. В связи с этим особую ценность приобретают методы биоиндикационной оценки качества морских акваторий, позволяющие оценить весь комплекс негативного влияния среды на организмы гидробионтов (рыбные популяции) в целом.

Мировой опыт проведения подобного рода исследований основан на подборе биоиндикаторных видов – повсеместно распространенных в водоеме малоподвижных донных форм, биологические характеристики которых находятся в тесной взаимосвязи с окружающей средой (Карапетьян и др., 2012). Оптимальным биоиндикатором



Рис. 1. Карта-схема расположения районов исследования в Таганрогском заливе Азовского моря: район 1 – окрестности с. Молчановка, район 2 – Белосарайская коса.

для Азовского моря служит бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) – самый массовый представитель бычковых, распространенный во всех районах моря, включая его центральную часть (Александрова, Корпакова, 2014). В работах ряда авторов показана зависимость между уровнем комплексного загрязнения среды обитания, концентрацией токсикантов и откликами биохимических показателей в тканях бычка-кругляка (Карапетьян и др., 2012; Ковыршина и др., 2012; Корниенко и др., 2017; Ковыршина, Руднева, 2018). К наиболее релевантным для биоиндикационных исследований биомаркерам относят показатели прооксидантно-антиоксидантной системы: активность антиоксидантных ферментов, содержание продуктов окислительной модификации белков (ОМБ) и перекисного окисления липидов (ПОЛ) (Stoliar, Lushchak, 2012; de Moura et al., 2017); показатели функционального состояния печени рыб: активность аминотрансфераз и содержание альбумина (Edogi et al., 2013; Javed, Usmani, 2015), а также активность холинэстеразы (ХЭ) – маркера присутствия в среде специфических токсикантов (Suresh et al., 1992; Старостина, Дегтева, 2008; Gad, 2009).

Цель настоящей работы – с применением комплекса биохимических показателей печени бычка-кругляка провести биоиндикационную оценку двух районов Таганрогского залива.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Объект исследования бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) – представитель донной ихтиофауны, важный промысловый вид

Азовского моря; в отдельные годы его доля в уловах всех рыб по бассейну достигала 45–67%. Являясь важным звеном трофической цепи, бычок-кругляк составляет основу пищевого рациона таких ценных промысловых рыб Азовского моря, как судак, белуга и калкан (Александрова, Корпакова, 2014).

Ихтиологический материал был получен в результате учетной траловой съемки по оценке запасов донных видов рыб Азовского моря сотрудниками Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства на рыболовецком сейнере «Илия» в октябре 2019 г. В качестве учетного орудия лова был использован донный трал. Его размер по верхней подборе составлял не более 38 м с ячейей в кутце 6.5 мм. Продолжительность учетного траления составляла 30 мин, скорость траления – 1.5 м/с. Расположение районов отбора проб в Таганрогском заливе представлено на рис. 1.

Район 1 (46°55'60" N; 38°39'39" E) располагался в центральной южной части Таганрогского залива в окрестностях с. Молчановка (в 10 км к западу от с. Порт-Катон). В составе донных осадков здесь преобладали крупноразмерные фракции (пески, алевритовые и пелитовые пески) (Натарова, Серебряков, 2015). Согласно данным ФГУ «Азовморинформцентр» за 2014 г., по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) прибрежные воды у с. Порт-Катон, расположенного неподалеку от с. Молчановка, характеризовались как «слабо загрязненные» (II класс качества). Превышение по содержанию тяжелых металлов (ТМ) в воде было показано для

Fe_{общ.} и Al, оно составило 1.56 и 2.14 ПДК соответственно (Информационный бюллетень..., 2015).

Район 2 (46°47'07" N; 37°23'58" E) находился в западной части Таганрогского залива (Белосарайская коса). Донные осадки этой акватории были представлены мелкой фракцией – глинистыми илами (<0.01 мм), содержание которых достигало более 85% (Кизицкий, 2000; Матишов и др., 2017). Основными источниками загрязнения западной части залива служат предприятия Мариупольского промышленного узла: металлургические комбинаты им. Ильича и “Азовсталь”, коксохимический завод, машиностроительное объединение “Азовмаш” и морской торговый порт. Так, только металлургический комбинат “Азовсталь” ежегодно сбрасывает в Азовское море около 602856.3 млн м³ загрязненных сточных вод. В составе последних отмечены фенолы – 4811.77 мг/л (ПДК = 0.1), Fe – 3329 мг/л (ПДК = 0.3), сульфиды – 5.2 мг/л (ПДК = 0.001), роданиды – 9.33 мг/л (ПДК = 0.1), Cr (IV) – 6.1 мг/л (ПДК = 0.1), Cr (III) – 8.9 мг/л (ПДК = 1.0), фториды – 21.02 мг/л (ПДК = 1.5), нефтепродукты – 1.7 мг/л (ПДК = 0.3) и другие вещества (Бутенко, Капустин, 2010). Глинистый материал западной части залива характеризовался высоким содержанием Pb и Hg (Кизицкий, 2000).

Стандартный биологический анализ рыб проводили сразу после поднятия их на палубу; возраст оценивали по отолитам (Правдин, 1966). После взвешивания печень замораживали для биохимических определений и хранили не более одного месяца при температуре –22°C.

В лаборатории печень несколько раз промывали холодным 0.85% физиологическим раствором, затем гомогенизировали в калий-фосфатном буфере (50 мМ, pH 7.2) с добавлением 1 мМ ЭДТА. Для получения супернатантов гомогенаты центрифугировали 15 мин при 10 000 g и температуре 0–4°C в рефрижераторной центрифуге MPW-352R (MPW Med. Instruments, Польша). Все биохимические показатели определяли в супернатантах. Измерения проводили при стандартной температуре 25°C.

Уровень ОМБ (опт. ед./мг белка) анализировали на основе реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином (Дубинина и др., 1995). Оптическую плотность образовавшихся 2,4-динитрофенилгидразонов для альдегидных (C₃₅₆) и кетонных (C₃₇₀) продуктов нейтрального характера регистрировали при длинах волн (λ) 356 и 370 нм, для альдегидных (C₄₃₀) и кетонных (C₅₃₀) продуктов основного характера – при 430 и 530 нм.

Содержание вторичных продуктов ПОЛ – ТБК-активных продуктов (ТБК-АП, нмоль ТБК-АП/мг белка) регистрировали по реакции с

тиобарбитуровой кислотой ($\lambda = 532$ нм) (Стальная, Гаришвили, 1977).

Активность супероксиддисмутазы (СОД, усл. ед./мг белка/мин) анализировали в системе нитросиний тетразолиевый – феназинметасульфат – никотинамиддинуклеотид (НСТ-ФМС-НАДН) ($\lambda = 560$ нм) (Nishikimi et al., 1972), активность каталазы (КАТ) (мкат/мг белка) – по реакции взаимодействия перекиси водорода с молибдатом аммония ($\lambda = 410$ нм) (Королюк и др., 1988).

Активность ХЭ (мкат/г белка) определяли с использованием стандартных наборов реагентов ДиаВетТест (Россия) (кинетический фотометрический тест). Под влиянием ХЭ бутирилтиохолин гидролизуется с образованием тиохolina. Последний восстанавливает гексациано-(III)-феррат калия до бесцветного гексациано-(II)-феррата, что приводит к уменьшению поглощения света, измеряемого при $\lambda = 405$ нм.

Для определения активности аспаратамино-трансферазы (АСТ) (мкмоль/ч мг белка), аланинаминотрансферазы (АЛТ) (мкмоль/ч мг белка) и содержания альбумина (мг/мг белка) использовали стандартные наборы реактивов “ОЛЬВЕКС ДИАГНОСТИКУМ” (Россия). Активность АСТ определяли по реакции взаимодействия оксалоацетата с 2,4-динитрофенилгидразином, активность АЛТ – по реакции взаимодействия пирувата с 2,4-динитрофенилгидразином в щелочной среде. Образовавшиеся окрашенные продукты реакции – гидразоны оксалоацетата и пирувата соответственно регистрировали при $\lambda = 537$ нм. Содержание альбумина определяли по реакции с бромкрезоловым зеленым ($\lambda = 628$ нм).

Все определения проводили на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ “Спектр”, г. Санкт-Петербург, Россия). Биохимические показатели пересчитывали на белок, концентрацию которого определяли биуретовым методом ($\lambda = 540$ нм), используя стандартный набор реагентов “ОЛЬВЕКС ДИАГНОСТИКУМ” (Россия).

Ранее было показано отсутствие достоверных различий между некоторыми биохимическими показателями крови возрастных групп рыб (0+)–1 и (1+)–2, а также самок и самцов бычка-кругляка из Азовского моря (Ковыршина, 2017). В связи с этим для проведения биоиндикационных исследований отбирали рыб обоих полов доминантных возрастных групп (0+)–1 и (1+)–2 в количестве 24 и 30 экз. из районов 1 и 2 соответственно. Каждый параметр определяли в трех повторностях.

В ходе статистической обработки результатов вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку среднего. Достоверность различий между выборками оценивали с применением U-критерия Манна–Уитни. Различия считали достоверными при уровне значимости $p \leq 0.05$. Статистический

Таблица 1. Показатели прооксидантно-антиоксидантной системы печени бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* из двух районов Таганрогского залива

Параметр	Таганрогский залив	
	район 1	район 2
ТБК-АП, нмоль ТБК-АП/мг белка	6.17 ± 0.67	17.95 ± 0.96*
C ₃₅₆ , опт. ед./мг белка	0.040 ± 0.004	0.092 ± 0.007*
C ₃₇₀ , опт. ед./мг белка	0.048 ± 0.005	0.132 ± 0.009*
C ₄₃₀ , опт. ед./мг белка	0.019 ± 0.002	0.075 ± 0.005*
C ₅₃₀ , опт. ед./мг белка	0.005 ± 0.001	0.015 ± 0.003*
СОД, усл. ед./мг белка/мин	22.37 ± 5.27	62.54 ± 10.01*
КАТ, мкат/мг белка	0.26 ± 0.02	0.30 ± 0.022

*Различия между значениями показателей бычка-кругляка из исследованных районов достоверны. Примечание. ТБК – тиобарбитуровая кислота; ТБК-АП – ТБК-активные продукты; C₃₅₆ – альдегидные и C₃₇₀ – кетонные продукты нейтрального характера; C₄₃₀ – альдегидные и C₅₃₀ – кетонные продукты основного характера; СОД – супероксиддисмутаза; КАТ – каталаза.

Таблица 2. Некоторые биохимические показатели печени бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* из двух районов Таганрогского залива

Параметр	Таганрогский залив	
	район 1	район 2
АЛТ, мкмоль/ч мг белка	0.373 ± 0.02	0.111 ± 0.01*
АСТ, мкмоль/ч мг белка	0.089 ± 0.007	0.027 ± 0.001*
Альбумин, мг/мг белка	0.626 ± 0.03	0.311 ± 0.017*
ХЭ, мкат/г белка	3.39 ± 0.86	1.24 ± 0.21*

*Различия между значениями показателей бычка-кругляка из исследованных районов достоверны. Примечание. АЛТ – аланинаминотрансфераза, АСТ – аспаратаминотрансфераза, ХЭ – холинэстераза.

анализ проводили с помощью компьютерных программ Past 3 и Microsoft Office Excel 2016.

прооксидантно-антиоксидантной системы, белкового обмена и активностью ХЭ в печени бычка-кругляка из двух районов Таганрогского залива.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Активность СОД ($p \leq 0.001$), содержание продуктов ОМБ нейтрального ($p \leq 0.001$) и основного ($p \leq 0.001$) характера, а также ТБК-АП ($p \leq 0.001$) в печени бычков, отловленных у Белосарайской косы (район 2), было достоверно выше, чем у рыб из центральной части залива (район 1). Сравнительный анализ активности КАТ в печени рыб из двух локаций не показал достоверных отличий (табл. 1).

Активность АЛТ и АСТ в печени бычка-кругляка из района 1 была более чем в 3 раза выше ($p \leq 0.001$) аналогичных показателей у рыб из второго района исследований (табл. 2).

Содержание альбумина ($p \leq 0.001$) и активность ХЭ ($p \leq 0.001$) были достоверно выше в супернатантах печени рыб из центральной части залива по сравнению с данными показателями у бычков из второго района (табл. 2).

Таким образом, результаты исследований позволили выявить различия между показателями

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что свободнорадикальные процессы играют ведущую роль в механизмах токсичности широкого спектра загрязнителей, поэтому для биоиндикационной оценки качества водной среды рекомендовано использовать показатели прооксидантно-антиоксидантной системы. Анализ соотношения процессов окислительного повреждения биомолекул с буферной емкостью антиоксидантной системы позволяет оценить как адаптационные возможности организма, так и уровень окислительного стресса (ОС) (Stoliar, Lushchak, 2012; de Moura et al., 2017). В нашем исследовании содержание продуктов ОМБ и ПОЛ в печени бычков из района 2 было почти в 3 раза выше, чем в печени рыб из центральной части залива (табл. 1). При этом реакция антиоксидантных ферментов была неоднозначной: в печени рыб, отловленных у Белосарайской косы, активность СОД была достоверно выше (в 2.8 раза) по

сравнению с таковой у бычков из района 1, тогда как активность КАТ в печени рыб из этих локаций не различалась (табл. 1). СОД катализирует реакцию дисмутации супероксидных анион-радикалов с образованием перекиси водорода, которая, в свою очередь, разлагается КАТ с образованием кислорода и воды. Согласованная работа данных ферментов обеспечивает поддержание активных форм кислорода на безопасном для клетки уровне (Karadag et al., 2014). Достоверно более высокая активность СОД у рыб из района 2 на фоне высоких показателей ОС является адаптивной компенсаторной реакцией организма (стадия компенсации). В то же время отсутствие адекватного ответа со стороны КАТ, вероятно, свидетельствует об ингибировании активности этого фермента в условиях высокого содержания Рb и Hg в глинистой фракции грунтов Белосарайской косы (Кизицкий, 2000). Ранее была показана сильная отрицательная корреляционная зависимость между активностью КАТ в эритроцитах крови бычка-круляка ($r = -0.87$) и концентрацией Hg в его тканях (Ковыршина, 2017). Таким образом, результаты исследований позволили установить интенсификацию процессов свободнорадикального окисления (СРО) белков и липидов в печени рыб из района 2, что свидетельствует о развитии патологических процессов в организмах рыб, обитающих в этом районе.

Для оценки функционального состояния печени рыб в условиях ОС используется комплекс показателей белкового метаболизма: активность ферментов аминотрансфераз АСТ и АЛТ, а также содержание альбумина (Edogi et al., 2013; Javed, Usmani, 2015). Аминотрансферазы катализируют реакции переаминирования, в результате которых образуются продукты, необходимые для синтеза аминокислот и субстратного обеспечения глюконеогенеза. Компенсаторное увеличение активности аминотрансфераз в печени рыб было показано при действии полиароматических углеводородов и хлорамина (Tkachenko et al., 2013; Naqee et al., 2017). Однако достаточно сильное воздействие может приводить к перекисному окислению липидов клеточных мембран гепатоцитов, “выбросу” аминотрансфераз в кровь и к снижению их активности в органе (Kavitha et al., 2010; Kole et al., 2014). При действии сублетальных концентраций гербицида параквата на клариевого сома *Clarias gariepinus* было показано снижение активности обеих аминотрансфераз в печени и увеличение их активности в сыворотке крови (Edogi et al., 2013). Согласно результатам наших исследований, активность АСТ и АЛТ была более чем в три раза ниже (табл. 2), а содержание продуктов ПОЛ было выше (табл. 1) в печени бычков из района 2 по сравнению с аналогичными показателями у рыб из района 1. Выявленные различия могут свидетельствовать о нарушении

целостности мембран гепатоцитов и “утечке” ферментов из органа.

Информативным показателем белоксинтезирующей функции печени является альбумин — многофункциональный белок сыворотки крови. Альбумин наряду с поддержанием осмотического давления крови и белкового резерва организма осуществляет транспортировку и депонирование слаборастворимых веществ экзогенного и эндогенного происхождения, выполняет антиоксидантные функции (Борченко и др., 2007; Созарукова и др., 2016). Способность альбумина транспортировать ксенобиотики, продукты СРО и протеолиза белков (молекулы средней массы) из кровяного русла к месту их утилизации определяет его детоксикационную функцию (Гаврилов и др., 1999; Борченко и др., 2007). Антиоксидантные свойства белка обусловлены наличием SH-группы цистеина, а также метиониновых и триптофановых остатков аминокислот, “перехватывающих” свободные радикалы (Созарукова и др., 2016). В условиях ОС концентрация альбумина в плазме крови существенно снижается (Созарукова и др., 2016), что приводит к нарушению естественной детоксикации организма и накоплению токсичных метаболитов (Борченко и др., 2007). В наших исследованиях содержание альбумина в печени бычков, обитающих у Белосарайской косы, было достоверно ниже, чем у рыб из центральной южной части залива (табл. 2). Относительно низкое содержание альбумина на фоне высокого уровня ОМБ в печени рыб из района 2 может быть следствием его окислительной модификации в результате связывания со свободными радикалами, а также нарушения белоксинтезирующей функции печени и/или увеличения скорости распада альбумина до аминокислот.

Другой рекомендованный для биоиндикационных исследований показатель — активность фермента ХЭ. Это специфический биомаркер, активность которого ингибируется в тканях гидробионтов под действием ТМ (Suresh et al., 1992), фосфорорганических и карбаматных соединений (Старостина, Дегтева, 2008; Gad, 2009). Снижение активности ХЭ в печени сазана *Cyprinus carpio* было показано при действии сублетальных концентраций ртути (0.1 мг/л) и цинка (6 мг/л) (Suresh et al., 1992). Согласно результатам наших исследований, активность этого фермента была достоверно ниже (в 2.7 раза) в печени рыб из района 2 по сравнению с таковой у бычков из центральной южной части Таганрогского залива (район 1) (табл. 2). Выявленная особенность, вероятно, свидетельствует об ингибировании активности фермента высокими концентрациями ТМ в донных осадках у Белосарайской косы (Кизицкий, 2000; Бутенко, Капустин, 2010).

В условиях географической обособленности Таганрогского залива размер фракций грунта во многом определяет геодинамическую и геохимическую устойчивость ландшафтов, формируя зоны с разной сорбирующей способностью (Натарова, Серебряков, 2015). Поэтому результаты биоиндикационного анализа были сопоставлены не только с данными химического загрязнения, но и с гранулометрическими характеристиками донных отложений в районах исследования.

В составе осадков района 2 преобладают мелко-размерные фракции с высоким содержанием глины. Из-за высокой сорбирующей способности (Кизицкий, 2000; Натарова, Серебряков, 2015; Матишов и др., 2017) эти осадки накапливают загрязняющие вещества и образуют зону экологического риска. В результате функционирования металлургических и химических предприятий г. Мариуполь в акваторию Таганрогского залива попадает большое количество загрязняющих веществ. Смещение прооксидантно-антиоксидантных реакций в сторону СРО белков и липидов в печени бычков, отловленных у Белосарайской косы, свидетельствует о высоком уровне комплексного загрязнения этой акватории, превышающем адаптационные возможности организма. Более низкие значения активности ХЭ и содержания альбумина, а также отсутствие адекватной реакции со стороны КАТ в печени рыб из данного района, вероятно, обусловлены токсическим действием высоких концентраций Hg и Pb в глинистой фракции донных осадков (Кизицкий, 2000). В результате связывания с сульфгидрильными группами ферментов (ХЭ, КАТ) и белков (альбумин) эти элементы (Hg и Pb) приводят к необратимым конформационным изменениям белковых молекул, которые ингибируют активность ферментов и усиливают процессы ОМБ (Скугорева и др., 2016).

В центральной южной части Таганрогского залива (район 1) отсутствуют прямые источники загрязнения, а в составе донных отложений преобладают крупноразмерные фракции. В условиях небольших глубин и высокой гидродинамической активности эти осадки подвергаются постоянному переотложению в границах прибрежной зоны (Натарова, Серебряков, 2015). Осадки средне- и мелко-размерной фракций поступают в акваторию в результате береговой абразии (Береговые экспедиции..., 2005). Они активно вымываются и перемещаются ближе к центральной части залива, унося с собой большую часть загрязняющих веществ (Натарова, Серебряков, 2015). Анализ биохимических показателей печени бычка-кругляка из района 1 позволяет характеризовать его экологическое состояние как благополучное, что, несмотря на высокий уровень загрязнения Таганрогского залива в целом, вероятно, обусловлено особенностями гидродинамического

режима и гранулометрического состава донных осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты биоиндикационных исследований позволили выявить окислительное повреждение гепатоцитов и перестройку белкового метаболизма в печени бычка-кругляка из района Белосарайской косы, что свидетельствует о неблагоприятном экологическом состоянии этой локации по сравнению с таковым в центральной южной части Таганрогского залива. Комплекс биомаркеров, предложенный в работе, является информативным для оценки качества морских акваторий и может быть использован при проведении биоиндикационных исследований в других водоемах естественного обитания бычка-кругляка.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по темам “Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана”, регистрационный № 121030100028-0, а также “Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия”, регистрационный № АААА-А19-119060690014-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова У.Н., Корнакова И.Г. Состояние популяции бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas 1814) в Азовском море // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2014. № 2. С. 59–63.
- Береговые экспедиции. Побережье Азовского и Черного морей // Экосистемный мониторинг Азовского, Черного и Каспийского морей. Экспедиционные исследования ЮНЦ РАН в 2005 г. (информационные материалы). Ростов-н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН. 2005. С. 73–97.
- Борченко Р.В., Киселева Р.Е., Макогон И.П. Связывающая способность альбумина и концентрация молекул средней массы в сыворотке крови телят при диарее // Сельскохозяйств. биол. 2007. № 2. С. 82–86.

- Бутенко Э.О., Капустин А.Е. Экологическая ситуация промышленных регионов Донбасса и Приазовья // Восточно-европ. журн. передовых технол. 2010. № 5/6. С. 50–55.
- Гаврилов В.Б., Бидула М.М., Фурманчук Д.А. и др. Оценка интоксикации организма по нарушению баланса между накоплением и связыванием токсинов в плазме крови // Клин. лаб. диагностика. 1999. № 2. С. 13–17.
- Дубинина Е.Е., Бурмистов С.О., Ходов Д.А., Поротов И.Г. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод ее определения // Вопр. мед. химии. 1995. № 1. С. 24–26.
- Информационный бюллетень по зоне деятельности ФГУ “Азовморинформцентр” в границах Ростовской области за 2014 г. // Таганрог. 2015. 543 с.
- Караетьян О.Ш., Павленко Л.Ф., Короткова Л.И. и др. Влияние накопления приоритетных токсикантов в печени бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* Азовского моря на морфометрические и молекулярные биомаркеры данного вида рыб // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. <http://www.science-education.ru/101-5429>
- Кизицкий Р.М. Эколого-геохимические особенности распределения свинца и ртути в донных отложениях (на примере Таганрогского залива и юго-восточной части Азовского моря): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону. 2000. 26 с.
- Ковырина Т.Б., Руднева И.И. Реакции биомаркеров крови бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) (Perciformes: Gobiidae) на хроническое загрязнение прибрежных вод Азовского моря // Биол. моря. 2018. Т. 44. № 4. С. 279–284.
- Ковырина Т.Б. Применение биомаркеров бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814)) для оценки экологического состояния прибрежных вод Черного и Азовского морей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь. 2017. 22 с.
- Ковырина Т.Б., Болдырев Д.А., Омельченко С.О. Исследования долговременных изменений активности антиоксидантных ферментов крови азовского бычка-кругляка в зависимости от содержания токсичных элементов в его тканях // Ветерин. медицина. 2012. Вип. 96. С. 294–296.
- Корниенко Г.Г., Дудкин С.И., Сергеева С.Г. и др. Физиолого-биохимическая характеристика рыб Азово-Черноморского бассейна в условиях современной антропогенной нагрузки // Вестн. Камчат. ГТУ. 2017. № 40. С. 58–66.
- Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е. Метод определения активности каталазы // Лаб. дело. 1988. № 1. С. 16–19.
- Матишов Г.Г., Буфетова М.В., Егоров В.Н. Нормирование потоков поступления тяжелых металлов в Азовское море по оценкам интенсивности седиментационного самоочищения вод // Наука Юга России. 2017. Т. 13. № 1. С. 44–58.
- Натарова Е.В., Серебряков А.А. Оценка устойчивости ландшафтов прибрежных акваторий Азовского моря в условиях современного осадконакопления (на примере Таганрогского и Ясенского заливов) // IV Международ. научно-практ. конф. молодых ученых и специалистов памяти акад. А.П. Карпинского, 16–20 февраля 2015 г., Санкт-Петербург, ФГУП “ВСЕГЕИ”. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ. 2015. С. 616–620.
- Неграфонтова О.Г. Состояние Таганрогского залива как части Азовского моря // Изв. ТРТУ. Тематический выпуск “Экология 2000 – море и человек”. 2000. С. 190–196.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. 4-е изд. М.: Пищевая пром-сть. 1966. 376 с.
- Селифонова Ж.П. Структурно-функциональная организация экосистем заливов и бухт Черного и Азовского морей (Российский сектор): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Мурманск. 2015. 52 с.
- Скугорева С.Г., Ашихмина Т.Я., Фокина А.И., Лялина Е.И. Химические основы токсического действия тяжелых металлов (обзор) // Теорет. и приклад. экология. 2016. № 1. С. 4–13.
- Созарукова М.М., Проскурина Е.В., Владимиров Ю.А. Сывороточный альбумин как источник и мишень свободных радикалов в патологии // Вестн. РГМУ. 2016. № 1. С. 61–67.
- Сорокин Ю.И., Буркацкий О.Н. Содержание лабильных сульфидов в донных осадках центральной части Азовского моря: воздействие на донные зооценозы // Океанология. 2007. Т. 47. № 5. С. 729–735.
- Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты // Современные методы в биохимии. М.: Медицина. 1977. С. 66–68.
- Старостина В.К., Дегтева С.Д. Холинэстераза: методы анализа и диагностическое значение. Новосибирск: Вектор-Бест. 2008. 35 с.
- de Moura F.R., Brentegani K.R., Gemelli A. et al. Oxidative stress in the hybrid fish *jundiara* (*Leiarius marmoratus* × *Pseudoplatys tomareticulatum*) exposed to Roundup Original // Chemosphere. 2017. V. 185. P. 445–451.
- Edori O.S., Dibofori-Orji A.N., Edori E.S. Biochemical changes in plasma and liver of *Clarias gariepinus* exposed to paraquat // IOSR J. Pharm. Biol. Sci. 2013. V. 8. № 2. P. 35–39.
- Gad N.S. Determination of glutathione related enzymes and cholinesterase activities in *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* as bioindicator for pollution in Lake Manzala // Global Veterinaria. 2009. V. 3. № 1. P. 37–44.
- Haque S., Mondal S., Kundu D., Ghosh A.R. Effect of multiple polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on liver of three teleostean fishes *Labeobata*, *Labeorohita* and *Cirrhinus mrigala* in Burdwan Loco Tank, Burdwan, West Bengal, India // Austin Envir. Sci. 2017. V. 2. № 1. P. 1017.
- Javed M., Usmani N. Stress response of biomolecules (carbohydrate, protein and lipid profiles) in fish *Channa punctatus* inhabiting river polluted by Thermal Power Plant effluent // Saudi J. Biol. Sci. 2015. V. 22. № 2. P. 237–242.
- Karadag H., Firat Ö., Firat Ö. Use of Oxidative Stress Biomarkers in *Cyprinus carpio* L. for the Evaluation of water pollution in Ataturk Dam Lake (Adiyaman, Turkey) // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2014. V. 92. № 3. P. 289–293.

- Kavitha C., Malarvizhi A., Kumaran S.S., Ramesh M.* Toxicological effects of arsenate exposure on hematological, biochemical and liver transaminases activity in an Indian major carp, *Catla catla* // Food Chem. Toxicol. 2010. V. 48. № 10. P. 2848–2854.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.07.017>
- Kole D., Pal S., Mukherjee A.K. et al.* Effects of Chromium on tissue-specific biochemical parameters in freshwater catfish, *Anabas testudineus* (Bloch) // HydroMedit. 2014. V. 13. № 15. P. 168–174.
- Nishikimi M., Rao N.A., Yagi K.* The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen // Biochem. Biophys. Res. Commun. 1972. V. 46. № 2. P. 849–854.
- Stoliar O.B., Lushchak V.I.* Environmental pollution and oxidative stress in fish // Oxidative stress – Environmental induction and dietary antioxidants. InTech. 2012. P. 131–166.
<https://doi.org/10.5772/38094>
- Suresh A., Sivaramakrishna B., Victoriamma P.C., Radhakrishnaiah K.* Comparative study on the inhibition of acetylcholinesterase activity in the freshwater fish *Cyprinus carpio* by mercury and zinc // Biochem. Int. 1992. V. 26. № 2. P. 367–375.
- Tkachenko H., Kurhaluk N., Grudniewska J.* Effects of chloramine-T exposure on oxidative stress biomarkers and liver biochemistry of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), brown trout, *Salmo trutta* (L.), and grayling, *Thymallus thymallus* (L.) // Arch. Pol. Fish. 2013. V. 21. P. 41–51.

Comparative Analysis of Biochemical Parameters in the Liver of Round Goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) from Two Regions of the Taganrog Bay (Sea of Azov)

T. B. Sigacheva^a, E. N. Skuratovskaya^a, S. V. Kurshakov^a, and M. S. Ryzhilov^b

^aA.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol 299011, Russia

^bThe LLC “Scientific Production Association “Sobskii Fish Farm”, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Kharp 629420, Russia

Bioindication assessment of two areas in the Taganrog Bay (Sea of Azov) was carried out using biochemical parameters (activity of antioxidant enzymes (superoxide dismutase and catalase), aminotransferases, cholinesterase, albumin content, level of oxidized proteins and lipid peroxidation) in the liver of round goby *Neogobius melanostomus*. Oxidative damage of hepatocytes and restructuring of protein metabolism, found in the liver of round goby from the area of the Belosaraiskaya Spit, demonstrate ecologically unfavorable state of this region.

Keywords: round goby, liver, complex pollution, biomarkers, Taganrog Bay, Sea of Azov