

**ОЦЕНКА РЕПРОДУКТИВНОГО КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
БЫЧКА-КРУГЛЯКА *NEOGOBIOUS MELANOSTOMUS* ИЗ АЗОВСКОГО МОРЯ
В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД**

© 2013 г. Н. И. Цема, Е. А. Самарская, С. И. Дудкин

*Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства,
Ростов-на-Дону, 344002
E-mail: tsema-nina@yandex.ru*

Поступила в редакцию 14.10.2013 г.

Представлены результаты исследований физиолого-биохимических показателей состояния производителей бычка-кругляка из Азовского моря в перестовый период. Показано снижение репродуктивной функции самок в некоторых районах исследования. Делается вывод о том, что замедление переноса трофических веществ из печени в гонады снижает репродуктивный потенциал производителей и в конечном счете может явиться причиной снижения плодовитости и жизнестойкости потомства.

Ключевые слова: бычок-кругляк, Азовское море, гонадосоматический индекс, гонадосоматический индекс, структура печени, ооциты, плодовитость, каротиноиды.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время бычки являются важным промысловым объектом рыболовства Азовского моря. Наиболее многочисленный и ценный вид – бычок-кругляк, составляющий 90–95% в уловах всех видов бычков. В 80–90-е годы XX в. запасы бычков находились в депрессивном состоянии. В период 2004–2006 гг. благодаря распреснению моря до оптимальной для бычков величины (10–11%) их запасы стали восстанавливаться, однако до настоящего времени уловы бычков не достигли значений 1950–1960 гг. (50–90 тыс. т). В связи с этим исследование физиолого-биохимических показателей, связанных с репродуктивной системой бычков в перестовый период, является важным направлением для оценки причин низкого уровня естественного воспроизводства популяции.

В преднерестовый период в печени рыб происходит накопление резервных веществ и интенсификация метаболических процессов, необходимых для созревания гамет. Эти процессы сопровождаются гипертрофией клеток и значительным увеличением массы печени, ферментативные системы которой наряду с детоксикацией поллютантов осуществляют метаболизм физиологически активных веществ, в том числе половых стероидных гормонов (Gallagher et al., 2001; Ирейкина, 2008). У самок рыб печень под воздействием эстрогенов синтезирует вителлогенин и белки-предшественники основных белков желтка яйцеклеток и их оболочек. В печени происходят основные процессы трансформации липидов, входящих затем в состав желтка. В ней синтезируются и некоторые белки плазмы крови, доставляющие в репродуктивные ткани необходимые гормоны и витамины. Активация детоксикационной функции печени под воздействием ксенобиотиков сказывается на клиренсе половых гормонов и их биологической активности, ведет к снижению уровня липидных антиоксидантов (токоферол, ретинол,

каротиноиды), необходимых для репродуктивной функции рыб (Дудкин и др., 2004).

Одним из важных биомаркеров репродуктивной функции самок рыб являются каротиноиды печени и гонад. Эти пигменты характеризуются высокой полифункциональностью: они участвуют в пигментации и размножении, дыхании и окислительном метаболизме клеток, тесно связанных с липидным и жирнокислотным обменом; обеспечивают рыб витамином А; обладают антиоксидантными свойствами и способны ингибировать процессы перекисного окисления липидов (Nakano et al., 1995, 1999). Присутствие каротиноидов в пище культивируемых лосося и леща значительно увеличивало эффективность их размножения, ускоряло развитие икры, оплодотворение и личиночный рост (Torggissen, Christiansen, 1995). В работе по исследованию репродуктивного качества самок осетра из Азовского моря в преднерестовый период было предложено использовать каротиноиды в печени и гонадах как биомаркер репродуктивной устойчивости рыб в условиях антропогенного загрязнения (Цема, Дудкин, 2009). Изучение процессов аккумуляции каротиноидов в печени и гонадах рыб является актуальным для выяснения причин и биохимических механизмов развития функциональных нарушений репродуктивной функции рыб, их способности к размножению и пополнению популяции в современных условиях обитания.

Цель нашей работы – оценка репродуктивного качества производителей бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* из прибрежных акваторий Азовского моря с использованием комплекса физиолого-биохимических показателей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работу выполняли на базе АзНИИРХ. В первой декаде июня 2011 г. было проведено исследование нерестовой части популяции бычка-кругляка, отловленного в прибрежной части Азовского моря, Таганрогского и Таманского заливов. На анализ были взяты 118 самцов (возраст 2+) и 53 самки (возраст 1+, 2+) бычка-кругляка с гонадами III-IV, IV стадий зрелости. Проводили биологический анализ исследуемых рыб: определяли пол, общую длину, массу тела и гонад, плодовитость по общепринятой методике (Правдин, 1966). Образцы ткани печени и икру извлекали при вскрытии и замораживали в жидком азоте при -196°C в сосуде Дюара. В печени всех рыб и икре самок определяли уровень каротиноидов (Корниенко и др., 2005). Кусочки печени фиксировали в 10%-ном растворе формалина для проведения гистологического анализа (Корниенко и др., 2005). Стадии зрелости гонад (СЗГ) оценивали по шестибалльной шкале с использованием микроскопа МБС-1. Величину гепатосоматического индекса (ГПСИ) рассчитывали как отношение массы печени к массе тушки рыбы, выраженное в процентах. Для более точного определения стадии зрелости рыб вычисляли коэффициент зрелости – гонадосоматический индекс (ГСИ) – как отношение массы гонад к массе тушки рыбы, выраженное в процентах (Шевелев, 2001). Основные линейно-массовые показатели бычка-кругляка представлены в табл. 1. Статистическую обработку полученных данных проводили, используя стандартный пакет программ MS Office Excel. Достоверность различий между выборками оценивали по *t*-критерию Стьюдента.

Таблица 1. Основные линейно-массовые показатели производителей бычка-кругляка из Азовского моря, июнь 2011 г.
Table 1. Size, weight, GSI, HSI and condition factor of round goby from the Azov Sea, June 2011

| Место отбора | Длина, см | Масса, г | ГСИ, % | ГПСИ, % | СЗГ | КУ, % |
|---|------------|-------------|------------|-----------|---------------------|-----------|
| Самцы | | | | | | |
| Таганрогский залив: | | | | | | |
| – порт г. Таганрог | 13,00±0,20 | 71,70±2,11 | 1,53±0,12 | 3,63±0,30 | IV | 3,30±0,09 |
| – пос. Весело-Вознесенка | 13,83±0,13 | 73,96±2,28 | 1,25±0,19 | 5,28±0,34 | IV | 2,79±0,06 |
| – пос. Весело-Вознесенка | 13,60±0,14 | 73,70±2,67 | - | 7,61±0,26 | II | 2,90±0,07 |
| – ст. Должанская | 13,50±0,09 | 63,30±1,26 | 1,41±0,08 | 3,01±0,13 | IV | 2,58±0,05 |
| – Долгая коса | 13,60±0,14 | 66,50±2,40 | 1,34±0,09 | 3,73±0,24 | IV | 2,63±0,05 |
| Азовское море: | | | | | | |
| – Камышевская коса | 13,40±0,19 | 67,50±3,48 | 1,45±0,10 | 3,33±0,21 | III - IV | 2,77±0,11 |
| – пос. Ачуево | 14,80±1,28 | 74,30±13,43 | 0,65±0,21 | 5,60±0,89 | III - IV | 2,31±0,23 |
| – порт г. Темрюк | 13,00±0,44 | 52,20±5,60 | 1,23±0,24 | 4,79±1,01 | III - IV | 2,31±0,06 |
| Таманский залив, Маркитанская коса | 13,00±0,29 | 57,38±2,14 | 1,47±0,26 | 4,29±0,41 | III - IV | 2,61±0,13 |
| Самки | | | | | | |
| Таганрогский залив: | | | | | | |
| – пос. Весело-Вознесенка | 11,50±0,01 | 46,50±5,50 | 13,60±5,62 | 4,00±1,70 | IV-V ₁ * | 2,62±0,36 |
| – Долгая коса | 11,00±0,25 | 28,30±0,73 | 2,20±0,24 | 2,32±0,26 | III* | 2,16±0,20 |
| – ст. Должанская | 10,90±0,21 | 30,00±1,03 | 18,20±1,78 | 2,38±0,14 | IV-V ₁ * | 2,25±0,11 |
| Азовское море: | | | | | | |
| – пос. Ачуево | 10,70±0,12 | 24,00±1,02 | 5,23±0,34 | 4,77±0,38 | III-IV | 1,96±0,14 |
| – пос. Ачуево | 10,70±0,37 | 26,00±1,95 | 0,15±0,44 | 4,57±0,59 | II | 2,19±0,20 |
| – порт г. Темрюк | 10,50±0,29 | 28,30±2,10 | 6,34±0,96 | 5,23±0,12 | IV* | 2,43±0,06 |
| – порт г. Темрюк | 10,80±0,22 | 29,40±1,77 | 1,17±0,16 | 5,46±0,37 | II | 2,30±0,05 |
| Таманский залив, Маркитанская коса | 10,50±0,19 | 29,40±1,41 | 24,09±0,92 | 2,66±0,19 | IV-V ₂ * | 2,54±0,05 |

Примечание: ГСИ – гонадосоматический индекс, ГПСИ – гонадосоматический индекс, СЗГ – стадия зрелости гонад, * – стадия зрелости второй генерации ооцитов в гонаде, КУ – коэффициент упитанности по Фултоу.

Note: ГСИ – gonadosomatic index, ГПСИ – gonadosomatic index, СЗГ – stage of gonad maturity, * stages of maturity of oocytes of the second generation in a gonad, КУ – condition factor according to Fulton.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследуемый период условия пагула бычка-кругляка во всех районах Азовского моря и Таганрогского залива были благоприятными. По опубликованным ранее данным (Цема и др., 2012), летом и осенью основу питания (75–83%) бычка-кругляка, отловленного в Азовском море, составляли брюхоногие и двустворчатые моллюски (*Hydrobia*, *Cerastoderma glaucum*). Кроме моллюсков в пищевом комке обнаружены рыба (тюлька) – 13–19% и черви (*Nereidae*, *Oligochaeta* sp.) – 5%. Коэффициент упитанности бычка-кругляка по Фультону (Правдин, 1966) колебался в пределах 2,0–3,3%. Соотношение количества самок и самцов исследуемой выборки рыб составляло 1:2, что соответствовало результатам июльской учетно-траловой съемки 2011 г. (Цема и др., 2012). Такое соотношение является благоприятным фактором выживания икры до сеголетки и формирования урожайного поколения бычка-кругляка (Ковтун, 1979).

Самцы. Исследованные самцы были длиной 13,0–14,8 см, массой 51,4–74,3 г, а самки – 10,5–11,5 см и 25,7–46,5 г соответственно. ГПСИ у самцов составляли $4,20 \pm 0,16\%$, что соответствовало значениям аналогичного исследования, проведенного в 2006 г. ($4,06 \pm 0,70\%$). Максимальные значения ГПСИ отмечены у самцов из Азовского моря (пос. Весело-Вознесенка, порт г. Темрюк и пос. Ачуево) и составили 7,61, 4,79 и 5,6%. Морфологический анализ печени самцов показал, что соответственно 90, 83 и 100% рыб из этих районов вылова имели крупную по размеру, рыхлую печень бледно-бежевого цвета. У остальных самцов печень была плотная, розового или красного цвета. Минимальное значение ГПСИ ($3,01 \pm 0,13\%$) отмечено у рыб, отловленных в районе ст. Должанская. Только у 25% самцов из этого района печень была рыхлой, бледного цвета, а у 75% рыб – плотной консистенции и красного цвета (рис. 1). ГСИ у исследованных самцов были в 1,6 раза ниже значений 2006 г. и составили $1,36 \pm 0,05\%$ про-

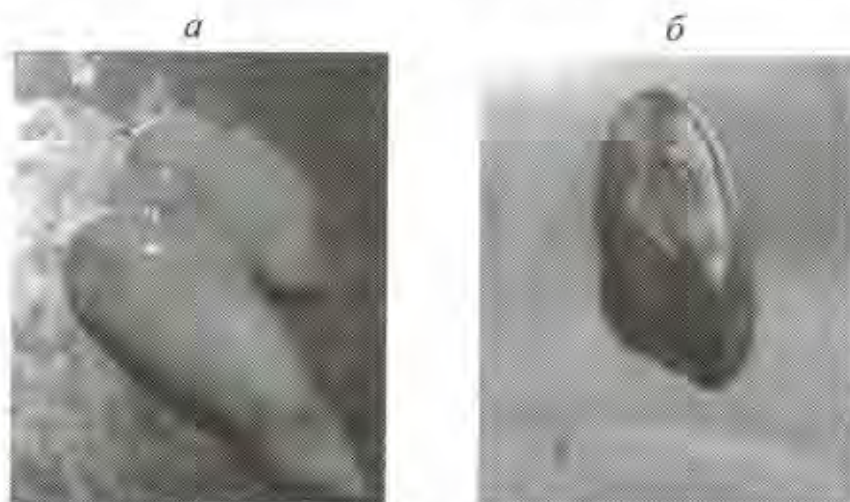


Рис. 1. Морфология печени производителей бычка-кругляка из Азовского моря: а – рыхлая печень бледно-бежевого цвета; б – печень плотной консистенции красного цвета.

Fig. 1. Liver morphology of round goby breeders from the Azov Sea: а – porous liver of pale-beige colour; б – dense liver of red colour.

тив $2,12 \pm 0,1\%$. По данным наших исследований (Цема и др., 2012), ГСИ самцов в нерестовый период (май-июнь) в 1970 г. также составляли 2,0–2,5%. Минимальным значениям ГСИ у самцов из районов вылова (пос. Ачуево, пос. Весело-Вознесенка) соответствовали максимальные значения ГПСИ. Визуальная оценка репродуктивного качества самцов показала, что 50% производителей из Таганрогского залива (пос. Весело-Вознесенка) были не готовы к нересту, у них отмечены гонады-ниточки I стадии зрелости. У остальных рыб из исследуемых районов Азовского моря, Таганрогского и Таманского заливов ГСИ были низкими – $1,36 \pm 0,05\%$, что, по мнению Куликовой и Фандеевой (1975), может быть одной из основных причин пропуска нереста самками из-за резорбции желтковых ооцитов старших генераций.

Самки. ГПСИ у исследуемых самок варьировал в пределах 2,32–5,46% при среднем значении 4,16% (табл. 1). Наименьшие значения ГПСИ отмечены у самок, выловленных в Азовском море (ст. Должанская) и в Таманском заливе, и составили $2,32 \pm 0,26$ и $2,66 \pm 0,19\%$ соответственно. Максимальное значение отмечено у самок из порта г. Темрюк ($5,46 \pm 0,37\%$). Высокие значения ГПСИ были отмечены также у самок из Азовского моря (пос. Ачуево) и составили $4,77 \pm 0,38\%$. Как правило, в период нереста происходит снижение ГПСИ из-за расходования энергетических запасов печени на созревание половых продуктов (Wallace, Selman, 1979). Согласно литературным данным, ГПСИ у нерестящихся самок из Азовского моря в мае-июне 1972 г. варьировал в пределах 2,7–3,7% (Куликова, Фандеева, 1975).

Морфологический анализ печени показал, что у 75% исследуемых самок из района вылова (ст. Должанская) и 65% самок из Таманского залива печень была плотной консистенции розово-красного и красного цвета. Печень 28% самок бычка из порта г. Темрюк была такого же качества, у остальных 72% самок из района порта и практически у всех самок пос. Ачуево она была рыхлая, бежевого цвета. В связи с этим высокие значения ГПСИ у самок бычка-кругляка из этих районов вылова (порт г. Темрюк, пос. Ачуево) могут свидетельствовать о влиянии на рыб неблагоприятных условий среды. Гистологический анализ печени производителей бычка-кругляка показал, что в печени 75% рыб из порта г. Темрюк отмечались патологические нарушения (3–4 балла) по шкале Земкова (2003). В строме печени рыб наблюдалась жировая дистрофия, затрагивающая 70–80% клеток. Часть гепатоцитов слеплась между собой. Стенки кровеносных сосудов были утолщены. У более 60% рыб, отловленных в районе ст. Должанская и в Таманском заливе, патологических изменений в печени не отмечали (2 балла).

Исследование состояния репродуктивной системы самок бычка-кругляка проводили в четырех районах Азовского моря: коса Долгая (ст. Должанская), пос. Ачуево, порт г. Темрюк и Таманский залив. Для оценки репродуктивного качества самок измеряли диаметр ооцитов и рассчитывали ГСИ. Анализ вариационных рядов диаметров ооцитов позволил установить число порций икры на момент исследования и уточнить стадии зрелости гонад, определенные визуально в полевых условиях. Фрагментарность исследований не позволила подсчитать абсолютную индивидуальную плодовитость, определена только плодовитость генераций ооцитов последующего нереста. Для оценки качества половых продуктов определяли удельное содержание каротиноидов в икре, полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика репродуктивного качества самок бычка-кругляка из разных районов вылова в первой декаде июня 2011 г.

Table 2. Reproductive characteristics of round goby females sampled in different locations in the first half of June 2011

| Место вылова | Стадия зрелости гонад | Количество рыб, % | Гонадосо-матический индекс, % | Содержание каротиноидов в гонадах, мкг/г | Средний диаметр ооцитов, мкм | Число порций | Среднее количество икры в одной порции, шт. |
|--------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------|--|------------------------------|--------------|---|
| Коса Долгая | IV-V* | 50 | 18,2 | 10,09 | 2125 | 3 | 840 |
| | III* | 50 | 2,0 | - | 625 | 2 | 462 |
| Пос. Ачуско | III-IV | 14,3 | 5,2 | 6,98 | 1250 | 2 | 961 |
| | II | 85,7 | 0,1 | - | - | - | - |
| г. Темрюк | IV* | 30,4 | 6,3 | 23,1 | 1833 | 2-3 | 597 |
| | II | 69,6 | 1,17 | - | - | - | - |
| ст. Тамань | IV-V* | 100 | 24,1 | 12,7 | 2146 | 2-3 | 1106 |

Примечание: * см. в табл. 1.

Note: * see table 1.

Ряд авторов считают, что перест самок бычка-кругляка происходит 2–3 раза в нерестовый сезон (Москвин, 1940; Трифонов, 1955; Костюченко, 1964). Другие авторы показали, что за период переста каждая самка может откладывать 5–6 порций икры (Михмап, 1963; Расшенерин, 1964; Куликова, Фандеева, 1975). По данным сектора гидрологии АзНИИРХ, в третьей декаде апреля во всех исследованных точках Азовского моря температура воды была выше 10°C, что способствовало началу нерестового периода у бычка-кругляка. В начале мая в уловах, по данным ихтиологов, были отмечены текущие самки. Таким образом, первая порция икры к моменту нашего исследования могла быть выметана. Анализ размерных вариационных рядов ооцитов бычка-кругляка, выловленного в Азовском море в июне 2011 г., показал наличие у 55% самок трех порций икры, у 45% рыб – двух порций. Возможно, часть ооцитов протоплазматического роста созреет в этом нерестовом сезоне и даст новые генерации ооцитов, предназначенных для нереста.

Однако у 50% самок, выловленных в Азовском море в районе ст. Должанская (коса Долгая), 33% из района порта г. Темрюк и 50% самок из Таманского залива в гонадах отсутствовали ооциты протоплазматического роста. Вероятно, в этом году после вымета имеющихся в гонаде вителлогенных ооцитов новые генерации клеток уже не созреют либо они могут развиваться из оогониев, что, по нашему мнению, маловероятно. У всех самок из Таманского залива и у 50% исследованных самок бычка-кругляка (ст. Должанская), гонады находились на IV₂, IV-V₂ и V₂ стадиях зрелости. ГСИ в среднем составлял 21,15%. Максимальный диаметр ооцитов генерации ближайшего нереста у этих рыб был 2000–2250 мкм, что согласуется с данными литературы (Куликова, Фандеева, 1975). Плодовитость порции очередного нереста была высокой и составляла 1106±82 и 840±81 шт. соответственно. Удельное содержание каротиноидов в гонадах – 10,09±1,00 и 12,7±0,85 мкг/г сырой массы соответственно. Анализ размерных вариационных рядов ооцитов, ГСИ и плодовитости самок из Таманского залива показал, что они обладали высокими

репродуктивными возможностями, а также синхронным развитием яичников. У остальных 50% самок из района вылова (ст. Должанская) гонады находились на III₂ стадии зрелости, ГСИ составлял 2,0%. Диаметр самых крупных ооцитов был в среднем 625 ± 125 мкм. Количество икры в порции ожидаемого нереста было ниже по сравнению с плодовитостью зрелых самок из того же района (ст. Должанская) и из Таманского залива – $462 \pm 25,8$ шт. Таким образом, практически все самки (100%) из Таманского залива и Азовского моря (ст. Должанская) принимали участие в нерестовом сезоне.

Однако большая часть самок (85,7%), отловленных в Азовском море в районе пос. Ачуево (рис. 2), не была подготовлена к нересту: СЗГ – II, ГСИ – 0,1%. У остальных самок наблюдалась задержка в сроках созревания ооцитов по сравнению с рыбами из других районов вылова: СЗГ – III-IV, ГСИ – 5,2%. Диаметр ооцитов генерации последующего нереста был равен 1250 ± 102 мкм, плодовитость очередной порции икры – 961 ± 95 шт. Концентрация каротиноидов в икре этих самок была наименьшей – $6,98 \pm 0,62$ мкг/г сырой массы (табл. 2). Пониженные показатели репродуктивного состояния рыб из этого района вылова по сравнению с самками из Таманского залива и Азовского моря (ст. Должанская), возможно, могут быть связаны с влиянием неблагоприятных факторов среды. В районе Темрюкского порта наблюдалась аналогичная картина: гонады 69,6% самок находились во II стадии зрелости, ГСИ – 1,17% (рис. 2). У 30,4% рыб из данного района вылова при нарушении развития гонад (ГСИ – 6,34%) были отмечены нормально созревающие, готовые к овуляции ооциты трофоплазматического роста с диаметром 1750–2000 мкм. Плодовитость очередной порции составила 597 ± 85 шт.

Удельная концентрация каротиноидов в гонадах самок из Темрюкского порта была в два раза выше, чем у рыб из Таманского залива и Азовского моря (ст. Должанская), и составила $23,1 \pm 1,01$ мкг/г сырой массы (табл. 2). Как известно, повышенное содержание каротиноидов в икре обеспечивает высокую жизнеспособность будущему потомству (Логина, 1967). Было пересчитано содержание каротиноидов на икринку, определяющее ее репродуктивный потенциал. Полученные данные представлены на рис. 3.

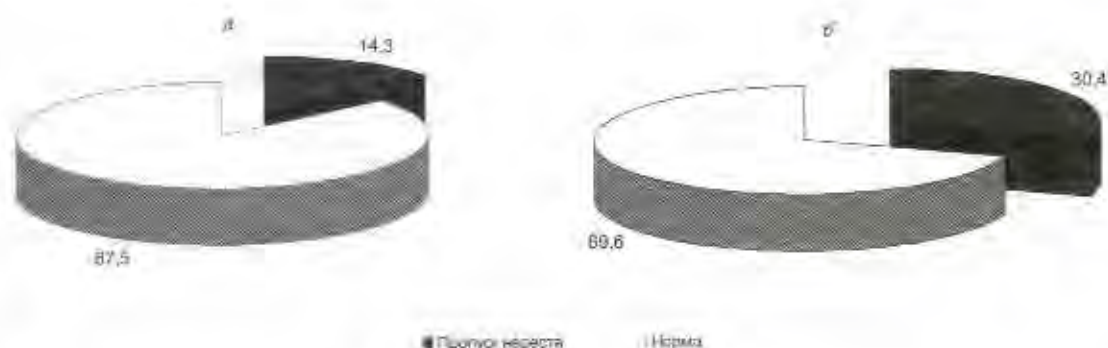


Рис. 2. Характеристика репродуктивного потенциала самок бычка-кругляка из Азовского моря, %: а – пос. Ачуево, б – порт г. Темрюк.

Fig. 2. Reproductive potential of round goby females from the Azov Sea, %: а – v. Achuevo; б – port Temryuk.

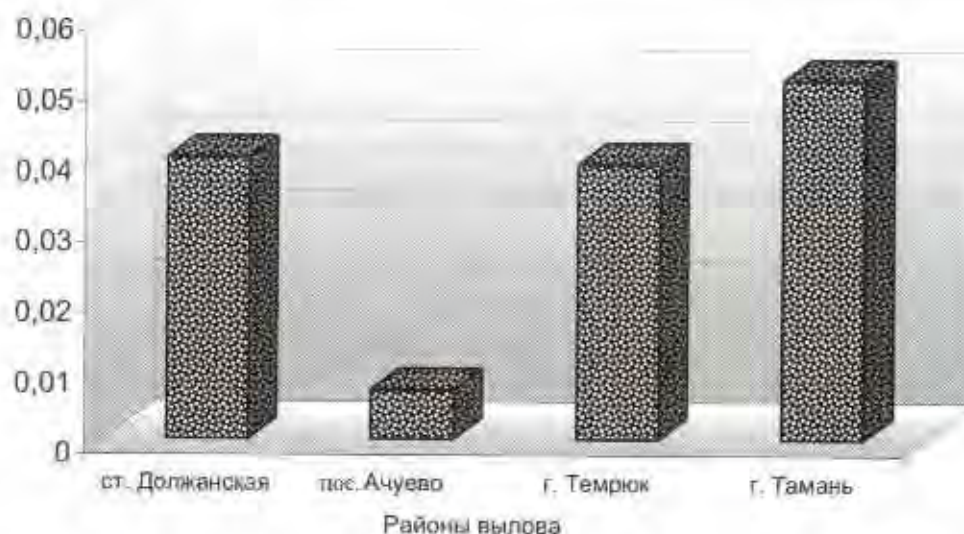


Рис. 3. Содержание каротиноидов в икринке бычка-кругляка из разных районов вылова, мкг/шт.
Fig. 3 The amount of carotinoids in the round goby eggs sampled in different regions, µg/egg.

Наиболее высокий репродукционный потенциал отмечен у бычков из Таманского залива, наименьший – у самок из Азовского моря (район пос. Ачуево). Содержание каротиноидов в икринке самок из Азовского моря (ст. Должанская, Темрюкский порт) было на одном уровне. Однако ГСИ у бычков из этих районов вылова отличался в три раза (18,2 и 6,3 соответственно). Повышение содержания каротиноидов в икре рыб, имеющих низкий ГСИ, по-видимому, является одним из механизмов их адаптации к загрязнению среды обитания, в частности акватории Темрюкского порта. Однако период нереста самок из Темрюкского порта в связи с низким ГСИ, возможно, будет носить затяжной характер.

Результаты, представленные в настоящей работе, являются частью комплексных исследований, проведенных сотрудниками отделов генетико-биохимического мониторинга (ОГБМ) и аналитического контроля водных экосистем ФГУП «АзНИИРХ». Часть результатов уже опубликована (Карапетьян и др., 2012; Дехта и др., 2012), мы являемся соавторами некоторых работ. Так, в работе Карапетьян и др. (2012) результаты корреляционного анализа выявили влияние накопления приоритетных токсикантов на уровень молекулярных биомаркеров в печени бычка-кругляка. Авторы показали, что содержание цитохрома P450 ($rS=0,72$, $p<0,05$) и активность глутатион-S-трансферазы ($rS=0,81$, $p<0,05$) положительно коррелируют с уровнем хлорорганических пестицидов (ХОП) в печени самцов. А при анализе корреляционных связей с тяжелыми металлами была обнаружена сильная отрицательная зависимость между компонентами микросомальной гидроксилирующей системы и концентрацией кадмия в печени рыб (табл. 3).

Зарубежными авторами было доказано, что тяжелые металлы оказывают влияние на работу эндокринной системы; качество и количество гамет, нарушая гаметогенез. Действие кадмия и меди связано с нарушениями сперматогенеза, ингибированием ряда ферментов и нарушениями в структуре ДНК (Jezierska, Witeska,

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между концентрацией кадмия и молекулярными биомаркерами в печени рыб ($p < 0,05$) (Карапетыан и др., 2012)

Table 3. Coefficients of correlation between Cd concentrations and molecular biomarkers in the fish liver ($p < 0,05$) (Karapetyan et al., 2012)

| Показатель | b5 | P450 | P450+P420 |
|-------------|-------|-------|-----------|
| Cd в печени | -0,78 | -0,76 | -0,88 |

2001; Dietrich et al., 2004; Dietrich, 2005), в результате чего снижается эффективность оплодотворения и количество жизнеспособной икры (Rurangwa et al., 1998; Dietrich et al., 2004).

В работе Дехты с соавторами (2012) был проведен факторный анализ связи накопления приоритетных токсикантов в печени бычка-кругляка с физиолого-биохимическими показателями, определяющими биопродуктивность популяции рыб. В табл. 4 показаны факторные нагрузки, полученные с помощью метода главных компонент и ортогонального варимакс-преобразования.

При анализе семи переменных было выделено два фактора, которые объясняют 72% суммарной дисперсии. Максимальные нагрузки первого фактора связаны с глутатионтрансферазой, накоплением ХОП и полихлорированных бифенилов (ПХБ). Таким образом, первый фактор интерпретировался как фактор индукции глутатионтрансферазы печени ХОП и ПХБ (точнее, их полярными модификантами). Наличие слабой отрицательной связи (-0,43) каротиноидов с первым фактором указывало на их трату в процессе детоксикации этих соединений. Максимальные нагрузки второго фактора были связаны с монооксигеназами (B5, P450+P420) и накоплением нефтяных углеводородов, мы интерпретировали его как фактор индукции монооксигеназ печени нефтяными углеводородами.

Таблица 4. Анализ главных компонент ферментов детоксикации и параметров накопления органических ксенобиотиков в печени бычка-кругляка (Дехта и др., 2012)

Table 4. Analysis of principal components of detoxication enzymes and accumulation of organic xenobiotics in the round goby liver (Dekhta et al., 2012)

| Переменная | Фактор 1 | Фактор 2 |
|---|-------------|-------------|
| Каротиноиды, мкг/г | -0,43 | 0,10 |
| B ₅ , нМоль/мг белка | -0,16 | 0,98 |
| P ₄₅₀ +P ₄₂₀ , нМоль/мг белка | 0,27 | 0,81 |
| Глутатионтрансфераза, нМоль конъюгата/мг белка (фракция S9*мин) | 0,76 | -0,38 |
| Хлорорганические пестициды, мкг/кг | 0,95 | 0,12 |
| Полихлорбифенилы, мкг/кг | 0,97 | 0,07 |
| Нефтяные углеводороды, мг/кг | -0,39 | 0,62 |
| Собственные значения | 2,86 | 2,17 |
| Доля общей дисперсии | 0,41 | 0,31 |

Проведенный анализ позволил авторам выделить два фактора, содержательная интерпретация которых выявила группы переменных, ответственных за две основные фазы детоксикации. Первая фаза (второй фактор) – микросомальное окисление, вторая фаза (первый фактор) – конъюгация, в ходе которой модифицированное ферментами микросом чужеродное вещество связывается с эндогенным субстратом (в данном случае с глутатионом посредством глутатинотрансферазы). Образовавшийся конъюгат удаляется из организма.

Таким образом, в нашей ранее опубликованной работе была показана существенная связь кумулятивных эффектов пестицидов с биомаркерами репродуктивного качества рыб. Полученные данные могут быть использованы при оценке причинно-следственных связей снижения темпа естественного воспроизводства популяций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные комплексные исследования нерестовой части популяции бычка-кругляка позволили выявить одну из причин снижения репродуктивной функции рыб в современный период. Она заключается в накоплении токсикантов в печени рыб, обитающих в загрязненной среде. На наш взгляд, факт накопления исследуемых токсикантов уже свидетельствует о снижении уровня детоксикационных процессов в печени рыб. Следствием этого может быть нарушение структуры печени, замедление переноса трофических веществ из печени в гонады и в конечном счете задержка развития репродуктивной системы.

Нарушение репродуктивной функции и генеративного качества половых продуктов может явиться причиной снижения плодовитости, жизнестойкости потомства и численности популяций бентосных рыб.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность рецензентам и старшему научному сотруднику отдела аквакультуры АзНИИРХ Г.В. Головки за помощь в сборе материала исследования и ценные методические советы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дехта В.А., Дудкин С.И., Бойко Н.Е. и др. Формализованная оценка влияния загрязненности водной среды и накопления в тканях токсических веществ на биологические показатели промысловых объектов Азово-Черноморского бассейна // Основные проблемы рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 2012. С. 284–298.

Дудкин С.И., Колесникова Л.В., Цема Н.И. Пищевые цепи и репродуктивная биология рыб в условиях антропогенного загрязнения // Тез. докл. Междунар. науч. конф. «Проблемы естественного и искусственного воспроизводства рыб в морских и пресноводных водоемах». Ростов-на-Дону: ЦВВР, 2004. С. 47–49.

Земков Г.В. Морфофункциональные критерии толерантности рыб при кумулятивном токсикозе: Автореф. дис. докт. биол. наук. Астрахань: АГТУ, 2003. 35 с.

Ирейкина С.А. Молекулярные биомаркеры антиоксидантной системы и биотрансформации загрязняющих веществ у рыб и моллюсков из импактных рай-

онов Залива Петра Великого (Японское море): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО, 2008. 21 с.

Карапетьян 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 // Современ. проблемы науки и образования: электрон. журн. 2012. № 1. (<http://www.science-education.ru/101-5429>)

Ковтун И. Ф. Значение соотношения полов в нерестовой популяции бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas) для воспроизводства его поколений в Азовском море // Вопр. ихтиологии. 1979. Т. 19. Вып. 1. С. 176–178.

Корниенко Г. Г., Бойко Н. Е., Бугаев Л. А. и др. Физиолого-биохимические и генетические исследования ихтиофауны Азово-Черноморского бассейна. Ростов-на-Дону: Эверест, 2005. С. 48–56.

Костюченко В. А. Биология и динамика численности бычка-кругляка Азовского моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Днепропетровск: ДГУ, 1964. 25 с.

Куликова П. И., Фандеева В. Н. О порционности икрометания азовского бычка-кругляка (*Gobius melanostomus* Pallas) // Тр. ВНИРО. 1975. Т. XCVI. С. 18–27.

Логина Т. А. Каротиноиды радужной форели при развитии гонад и икры // Обмен веществ и биохимия рыб. М.: Наука, 1967. С. 336–340.

Михман А. О. О плодовитости азовских бычков кругляка и сирмана // Тр. АзНИИРХ. 1963. Вып. 6. С. 105–109.

Москвин Б. С. Наблюдения за размножением некоторых видов *Gobiidae*, *Vleniidae*, *Gobiosocidae* в Черном море // Тр. Новорос. биостанции. 1940. Т. II. Вып. 3. С. 25–40.

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищепромиздат, 1966. С. 11–37.

Ращеперин В. К. Особенности порционного икрометания бычка-кругляка Азовского моря и численность его молоди // Труды совещания молодых ученых. М.: Пищепромиздат, 1964. С. 70–74.

Трифонов Г. П. Биология размножения азовских бычков // Тр. Карадаг. биостанции. 1955. Вып. 13. С. 5–46.

Цема Н. И., Дудкин С. И. Каротиноиды тканей самок русского осетра – биомаркеры устойчивости репродуктивной функции в условиях антропогенного загрязнения // Матер. науч.-практ. конф. «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Ч. 2. Азов; Ростов-на-Дону, 2009. С. 222–225.

Цема Н. И., Александрова У. Н., Самарская Е. А. Оценка состояния нерестовой части популяции бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) Азовского моря в современный период // Тр. АзНИИРХ. 2012. С. 271–284.

Шевелев М. С. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в районах исследований ПИНРО. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2001. 291 с.

Dietrich G. J., Kowalski R., Wojtczak M. et al. Computer-assisted sperm motility analysis (CASA) as a tool for monitoring the effects of sublethal doses of heavy metals on sturgeon spermatozoa // Breeding, rearing and prophylaxis in sturgeons and other fish species / Ed. Z. Zakes. Olsztyn: Inland Fish. Institute, 2004. P. 43–48. (in Polish)

Dietrich G.J., Szpyrka A., Wojtczak M. et al. Effects of UV irradiation and hydrogen peroxide on DNA fragmentation, motility and fertilizing ability of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) spermatozoa // Theriogenology, 2005. V. 64. № 8. P. 1809–1822.

Gallagher E.P., Gross T.S., Sheehy K.M. Decreased glutathione-S-transferase expression and activity and altered sex steroids in Lake Apopka brown bullheads (*Ameriurus nebulosus*) // Aquat. Toxicol. 2001. V. 55. P. 223–237.

Jezierska B., Witeska M. Metal toxicity to fish. Monographs № 42. Siedlce: Univer. Podlasie Press, 2001. 318 p.

Nakano T., Tosa M., Takeuchi M. Improvement of biochemical features in fish health by red yeast and synthetic astaxanthin // J. Agric. Food Chem. 1995. V. 43. P. 1570–1573.

Nakano T., Kanmuri T., Sato M., Takeuchi M. Effect of astaxanthin rich red yeast (*Phaffia rhodozyma*) on oxidative stress in rainbow trout // Biochim. Biophys. Acta. 1999. V. 1426. P. 119–125.

Rurangwa E., Roelants I., Huyskens G. et al. The minimum effective spermatozoa to egg ratio for artificial insemination and the effects of mercury on spermmotility and fertilization ability in *Clarias gariepinus* // J. Fish Biol. 1998. V. 53. P. 402–413.

Torrisen O.J., Christiansen R. Requirements for carotenoids in fish diets // J. Appl. Ichthyol. 1995. V. 11. P. 225–230.

Wallace R., Selman K. Physiological aspects of oogenesis in two species sticklebacks, *Gasterosteus aculeatus* L. and *Apeltes quadracus* (Mitchill) // J. Fish Biol. 1979. V. 14. P. 551–564.

REPRODUCTIVE ASSESSMENT OF ROUND GOBY *NEOGOBIOUS MELANOSTOMUS* FROM THE AZOV SEA IN THE PRESENT DAY PERIOD

©2013 г. N.I. Tsema, E.A. Samarskaya, S.L. Dudkin

Azov Sea Research Fisheries Institute, Rostov-on-Don, 344002

Physiological and biochemical parameters of round goby breeders from the Azov Sea have been studied during their spawning and the results are presented. The reproductive abilities are shown to be decreased in the females sampled in some investigated areas. We have come to a conclusion that slow transportation of trophic substances from the liver to the gonads can decrease the reproductive potential of breeders, and finally can be a cause of low fish fecundity and poor viability of the progeny.

Keywords: round goby, Azov Sea, gonadosomatic index, hepatosomatic index, liver, oocytes, fecundity, carotinoids.