

УДК 597.442–116:573.2

Влияние резорбции икры на функционирование иммунобиохимических механизмов гомеостаза леща Рыбинского водохранилища*В.Р. Микряков, Н.И. Силкина*

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (ФГБУН «ИБВВ им. И. Д. Папанина»), п. Борок
E-mail: mvr@ibiw.yaroslavl.ru

Представлены результаты сравнительного изучения некоторых иммунобиохимических показателей у самок леща Рыбинского водохранилища с признаками резорбции икры и без патологий гаметогенеза. У рыб с тотальной резорбцией икры по сравнению с самками, находящимися на VI стадии созревания половых продуктов, зафиксированы низкие показатели бактерицидной активности сыворотки крови и антиоксидантов и высокий уровень иммунодефицитных особей, иммунных комплексов и перекисного окисления липидов. Также они отличались относительным содержанием отдельных фракций липидов: фосфолипидов, холестерина, свободных неэстерифицированных жирных кислот, триацилглицеринов, эфиров стеринов. Установленные модификации в функционировании иммунобиохимических механизмов гомеостаза самок с явлениями резорбции рыб следует рассматривать как реакцию рыб на нарушения сбалансированных биохимических и иммунологических процессов. В организме самок леща с резорбцией икры наблюдаются дестабилизация структурно-функционального состояния механизмов иммuno-биохимического гомеостаза, активизация процессов регрессивного развития и истощение жизненных ресурсов.

Ключевые слова: лещ *Abramis brama*, гуморальный иммунитет, липиды, фракции липидов, прооксидантно-антиоксидантная система.

ВВЕДЕНИЕ

Нерест — наиболее важный этап в воспроизводстве и жизнедеятельности рыб [Никольский, 2013]. Разные виды рыб в период нереста отличаются особенностями поведенческих, физиологических, биохимических, иммунологических, гидрологических, температурных критериев. Явление резорбции икры довольно часто наблюдается среди различных видов рыб [Володин, 1978, 1982, 1990; Поддубный и др., 1984; Моисеенко и др., 2009]. При неблагоприятных условиях для нереста (нарушение

термических, гидрологических, гидрохимических режимов, дефицит нерестовых площадей, антропогенное загрязнение и т. д.) доля рыб с невыметанной икрой может увеличиться до 40–90%, тем самым приводя к значительному ущербу воспроизводству рыбных запасов. Резорбция икры отражается на выживаемости молоди нового поколения, структуре и численности нерестовых поколений, индивидуальной и абсолютной плодовитости рыб и т. д.

Следует отметить, что исследованию влияния резорбции икры на иммунофизиологи-

ческие и биохимические механизмы гомеостаза, обеспечивающие рассасывание икры и состояние воспроизводительной системы рыб достаточного внимания не уделяется. Ранее В. М. Володин с соавт. [1974] и В. Р. Микряков с соавт. [1976] на примере леща *Abramis brama* (L., 1758) Рыбинского водохранилища показали, что резорбция икры сопровождается изменением структурной организации икры, хромафинных, интерреналовых клеток, гематологических и иммунологических показателей.

На основании проведённых экспериментов в нагульных прудах сделан вывод, что резорбция икры оказывает тонизирующее действие на функционирование гормональных, иммунологических, кроветворных органов и систем. При этом нет угнетения процесса закладки новой генерации половых продуктов и существенного влияния на величину естественной смертности леща. Вместе с тем, мониторинговые исследования на Рыбинском водохранилище показали, что в траловых уловах довольно часто встречались особи со следами атрезии икры. У таких особей отсутствовали признаки формирования половых продуктов новой генерации. Чаще всего это рыбы в возрасте 8–9+ из наиболее загрязнённых участков Рыбинского водохранилища. В отечественной и зарубежной литературе недостаточно материалов, характеризующих иммунобиохимический статус рыб с процессами резорбции.

Цель работы — оценка влияния резорбции икры на иммуно-физиологическое и биохимическое состояние леща.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследования послужили самки леща после тотальной резорбции икры и особи на V–VI стадии созревания икры (контроль), выловленные в сентябре 1995–1997, 2002 и 2003 гг. в Рыбинском водохранилище. Отлов рыб производили путём траления с экспедиционного судна ИБВВ РАН на станциях Шекснинского плёса ниже г. Череповца (в районах Торово-Ваганиха и Любец). Для анализа использовали особей в возрасте 8–9+ средней длиной тела 340–355 мм и массой без внутренностей 680–705 г.

У рыб отбирали кровь и печень. Отбор проб крови осуществляли из хвостовой вены, печени — после вскрытия. Пробирки с кровью 20–30 мин отстаивали при комнатной температуре, стерильной пастеровской пипеткой отделяли сгусток крови и ставили в холодильник на 18–4 ч при температуре 4 °C. Через 1 сут отделившуюся в пробирках сыворотку отсасывали пастеровскими пипетками и переносили в стерильные пробирки. Для дальнейших исследований из тканей печени при помощи гомогенизатора готовили гомогенат с физиологическим раствором в соотношении 1: 1.

В полученных пробах сыворотки крови изучали бактериостатическую активность (БАСК), долю иммунодефицитных особей (ИМД) и содержание неспецифических иммунных комплексов (ИК), в тканях печени — содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и уровень антиокислительной защиты (АЗ) и в обеих тканях — фракционный состав липидов.

БАСК оценивали нефелометрическим методом в модификации В. Р. Микрякова [1991]. В зависимости от уровня БАСК выявляли долю ИМД особей, сыворотка крови которых не угнетала развитие тест-микробов.

Содержание ИК в сыворотке крови определяли спектрофотометрически при длине волны 450 нм методом селективной преципитации с 7%-ным полиэтиленгликолем [Гриневич, Альферов, 1981].

Липиды из тканей печени и сыворотки крови экстрагировали и определяли гравиметрическим стандартным методом [Folch et al., 1957]. Пробы фиксировали смесью хлороформ: метанол в соотношении 2: 1 по объёму. Качественный состав липидов определяли методом тонкослойной хроматографии восходящим способом на пластинках «Silufol» в системе растворителей: петролейный эфир, серный эфир, ледяная уксусная кислота (90:10:1, по объёму), а затем проводили количественное определение каждого липидного пятна [Кейтс, 1975]. Отдельные компоненты липидов выявляли в герметичной камере в парах йода. Во фракционном составе исследуемых тканей определяли содержание фосфолипидов (Ф), триацилглицеринов (Т), свободного холесте-

рина (Х), эфиров стеринов (ЭС), свободных неэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК) и углеводородов (У), которые идентифицировали с помощью стандартов.

Об интенсивности ПОЛ судили по накоплению продуктов перекисного окисления липидов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-реактивных продуктов). Их концентрацию определяли спектрофотометрически по интенсивности окрашивания при длине волны 535 нм [Андреева, 1988]. Содержание ТБК-реактивных продуктов вычисляли с учётом коэффициента молярной экстинкции ($1,56 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ см}^{-1}$) и выражали в наномолях на 1 г ткани.

Об общей антиокислительной активности судили по кинетике окисления субстрата восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола кислородом воздуха по общепринятой методике [Семенов, Ярош, 1985]. Сущность метода заключается в том, что чем выше скорость окисления субстрата в присутствии биологического материала, тем ниже содержание антиоксидантов в тканях. Константу ингибирования окисления субстрата (КОС) — показателя антиокислительной активности ткани, определяли относительно контроля по формуле:

$$K_i = (K_{\text{кон}} - K_{\text{оп}})/C,$$

где $K_{\text{кон}}$ и $K_{\text{оп}}$ — константы скорости окисления субстрата, соответственно в контроле и опыте; C — концентрация гомогената в кювете.

Статистическую обработку проводили стандартными методами (Лакин, 1980).

Результаты и их обсуждение

Из полученных материалов видно, что рыбы с признаками тотальной резорбции икры отличались от таковых контрольных исследуемыми показателями (табл. 1–3). Анализ полученных результатов разных лет наблюдений позволил выявить общую тенденцию изменения показателей в организме самок, сходство и различие параметров гуморального иммунитета, особенностей липидного обмена и их отдельных фракций, а также специфику процессов ПОЛ и АЗ.

Показатель гуморального иммунитета БАСК у контрольных особей превышал такие лещей с резорбированной икрой, а более высокие значения ИК в сыворотке крови были установлены у рыб с явлениями резорбции (табл. 1). Среди исследованных рыб с признаками резорбции от 48 до 71% самок относились к ИМД-особям, а среди контрольных самок с половыми продуктами III–IV стадиях развития доля ИМД-особей была существенно ниже — от 18 до 44%.

БАСК — интегральный показатель функционального состояния врождённых факторов гуморального иммунитета: систем комплемента, лизоцима, иммуноглобулинов, противомикробных пептидов, лектинов, преципитинов В-лизина, пропердина, дефензина и др. [Микряков, 1991; Койко и др., 2008; Хайтов и др., 2011;

Таблица 1. Показатели гуморального иммунитета самок леща Шекснинского плёса Рыбинского водохранилища

Год	Состояние рыб	БАСК, %	ИМД, %	ИК, у.е.
1995	резорбция	33,8	48	—
	контроль	62,1	24	—
1996	резорбция	29,3	55	—
	контроль	52,9	18	—
1997	резорбция	46,4	61	—
	контроль	48,8	31	—
2002	резорбция	35,5	71	23
	контроль	39,9	41	21
2003	резорбция	42,8	55	19
	контроль	56,4	44	18

Примечание. БАСК — бактериостатическая активность сыворотки крови; ИМД — иммунодефицитные особи; ИК — иммунные комплексы.

Van Muiswinkel et al., 2006]. Уровень БАСК зависит от функционального состояния организма, характера влияния на рыб неблагоприятных экологических, антропогенных, токсических и других факторов [Микряков и др., 1991, 2001]. ИК состоят из комплекса антиген-антитело и связанных с ними компонентов комплекса, образующихся в результате взаимодействия с низкомолекулярными чужеродными соединениями (гаптенами, растворимыми антигенами и аутоантигенами) [Болотников, 1991; Койко и др., 2008]. Они играют важную роль в процессах регуляции иммунных реакций, элиминации ксенобиотиков из организма и поддержании иммунофизиологического гомеостаза. При насыщении организма чужеродными телами, в т.ч. аутоантигенами и инфекционными агентами, происходит избыточное образование ИК вследствие снижения клиринговой функции клеток фагоцитарной системы [Логинов и др., 1999; Койко и др., 2008; Хайтов и др., 2011]. Повышенный уровень ИК вызывает супрессию механизмов иммунного гомеостаза и неконтролируемые патологические процессы (аллергизацию, аутоиммунизацию), которые могут стать причиной снижения иммунореактивности, истощения и гибели рыб [Микряков, 1991; Микряков и др., 2001; Van Muiswinkel, Vervoorn Van Der Wal, 2006; Van der Marel, 2012]. По-видимому, повышенные

показатели ИК у рыб с резорбцией — одна из причин снижения БАСК, появления в популяциях ИМД-особей с низким адаптационным потенциалом. Зафиксированные показатели естественного иммунитета у рыб с резорбцией характеризуют супрессивное функциональное состояние иммунологических механизмов гомеостаза.

Сыворотка крови и гепатопанкреас исследуемых рыб, подвергшихся процессу резорбции, различались между собой величинами липидных компонентов. В сыворотке крови и тканях печени рыб с резорбцией икры выявлено увеличение уровней фракций X, НЭЖК и ЭС и снижение Ф и Т (табл. 2).

Липиды благодаря своей гетерогенности и многообразию выполняемых в организме функций являются одними из наиболее информативных показателей, отражающих воздействие на рыб благоприятных и негативных факторов [Шатуновский, 1980; Сидоров, 1983]. Они служат источниками метаболической энергии в организме, биологических эффекторов и медиаторов, участвующих в регуляции всех жизненно важных функций систем, обеспечивающих оптимальный рост, развитие, состояние здоровья на всех этапах онтогенеза и адаптацию к изменяющимся факторам окружающей среды [Микряков и др., 2001; Гершанович и др., 1991].

Таблица 2. Относительное содержание липидных фракций в сыворотке крови и печени

Год	Состояние рыб	Фракции липидов (% от суммы)					
		Ф	Х	НЭЖК	Т	ЭС	У
Сыворотка крови							
1995	резорбция	20,06	17,43	11,30	14,00	32,91	4,30
	контроль	22,33	14,16	9,06	25,6	23,03	5,82
1996	резорбция	18,63	17,13	14,40	30,55	13,66	5,63
	контроль	22,70	5,76	11,43	34,41	11,43	4,27
1997	резорбция	21,01	17,64	13,38	20,36	23,50	4,11
	контроль	22,28	5,00	10,12	27,72	20,43	4,45
Печень							
2002	резорбция	21,91	17,63	12,72	20,66	21,05	6,03
	контроль	24,83	4,13	10,20	28,30	16,63	5,91
2003	резорбция	20,12	7,23	12,11	21,08	21,35	8,11
	контроль	22,02	3,77	9,12	28,02	18,05	9,00

Примечание. Ф — фосфолипиды; Х — холестерин; НЭЖК — неэстерифицированные жирные кислоты; Т — триацилглицериды; ЭС — эфиры стеринов; У — углеводороды.

Таблица 3. Содержание ТБК-реактивных продуктов и уровень КОС в печени

Год	Состояние рыб	МДА	КОС
2002	резорбция	57,32±1,29	32,59±3,18
	контроль	14,34±1,22	23,79±4,25
2003	резорбция	28,36±2,04	18,44±2,27
	контроль	12,89±1,47	13,83±1,97

Пониженная доля Ф в тканях рыб может быть связана с супрессией образования или поступления в ткани рыб липотропных веществ (холин, метионин и др.). Известно, что при их низком уровне значительно уменьшается синтез фосфолипидов из нейтрального жира (глицерина и жирных кислот) [Гершанович и др., 1991; Шатуновский, 1980]. Пониженный уровень Т вызван интенсивным использованием запасных липидов на энергетические нужды. Повышенное содержание свободного Х и НЭЖК сигнализирует о стрессовом состоянии рыб и нарушении углеводного обмена. Изменения липидного статуса организма резорбированных рыб, по-видимому, обусловлены дозрегуляцией липидного метаболизма под влиянием биохимических процессов.

Анализ параметров прооксидантно-оксидантного статуса печени выявил значительные различия по интенсивности процессов ПОЛ и уровню АЗ между группами исследуемых рыб (табл. 3). Содержание ТБК-реактивных продуктов у самок с резорбцией икры было в 2–4 раза, а показатель КОС на 25–27% выше по сравнению с контрольными рыбами.

Содержание ТБК-реактивных продуктов и скорость КОС в печени самок с резорбцией икры свидетельствуют о высоком уровне процессов ПОЛ и резком снижении уровня антиоксидантов в исследуемой ткани. Известно, что активация процессов ПОЛ является одним из ключевых звеньев неспецифических механизмов реализации разнообразных негативных воздействий на организм. Токсические продукты липопероксидации могут стать причиной вторичного повреждения клеточных мембран, снижения содержания антиоксидантов и подавления иммунологических, регенеративных функций, преждевременного старения, снижения темпов роста, развития и жизнеспособности. Неконтролируемому нарастанию продуктов пероксидации липидов, как извест-

но, препятствует многоуровневая система антиоксидантной защиты, состоящая из антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, глутатион-s-трансферазы) и низкомолекулярных антиоксидантных соединений (восстановленного глутатионом β -токоферола, фенольной формой коэнзима Q₁₀, β -каротина, аскорбиновой кислоты и др.) [Зенков и др., 1999; Меньшикова и др., 2008; Winston, 1991]. Антиоксидантной системе принадлежит важная роль в нейтрализации молекулярных механизмов окислительного стресса, инициирующих активацию реакции образования перекисей, и реализации адаптивных компенсаторных реакций в организме, поскольку компоненты этой системы участвуют в регуляции метаболических функций. Интенсификация процессов ПОЛ и пониженное содержание уровня антиоксидантов характерны для рыб, испытывающих состояние окислительного стресса. Усиление окислительных процессов и снижение содержания антиоксидантов сдвигает баланс системы ПОЛ \leftrightarrow АЗ в сторону интенсификации процессов ПОЛ [Зенков и др., 1999; Меньшикова и др., 2008; Winston, 1991]. Аналогичные нарушения окислительно-восстановительного баланса в системе ПОЛ \leftrightarrow АЗ обнаружены в популяциях рыб, обитающих в загрязненных морских и пресноводных акваториях [Мицяков и др., 2001, 2011; Силкина и др., 2012; Winston, 1991; Rudneva, Kuzminova, 2011].

Выводы

Самки леща с явлением резорбции икры, отличались от особей без нарушений гаметогенеза, функциональным состоянием гуморальных факторов иммунитета, долей ИМД особей и состоянием окислительно-восстановительного баланса. В исследуемых тканях этих рыб зафиксированы низкие показатели БАСК, Ф, Т и АЗ и, наоборот, повышенное содержание

ИК, Х, НЭЖК, ЭС и продуктов ПОЛ. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что организм самок леща с явлением резорбции икры реагировал дестабилизацией структурно-функционального состояния механизмов гомеостаза, активизацией процессов регрессивного развития и истощением жизненных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреева Л. И., Кожемякин Н. А., Кишкун А. А. 1988. Модификация методов определения перекисей липидов в teste с тиобарбитуровой кислотой // Лабораторное дело. № 11. С. 41–43.
- Болотников И. А. 1991. Словарь иммунологических терминов. М.: Росагропромиздат. С. 125.
- Володин В. М. 1978. Качественный состав нерестового стада и воспроизводство запасов рыб // Теоретические аспекты рыбохозяйственных исследований водохранилищ. Л.: Наука. С. 22–42.
- Володин В. М. 1982. Плодовитость леща *Aramis brama* (L.). (Cyprinidae) Рыбинского водохранилища // Вопросы ихтиологии. Т. 22. Вып. 2. С. 246–252.
- Володин В. М. 1990. Состояние воспроизводительной системы и плодовитость рыб в Северо-Шекснинском плесе Рыбинского водохранилища // Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск. С. 101–122.
- Володин В. М., Межнин Ф. И., Кузьмина В. В. 1974. Экспериментальное изучение резорбции икры леща *Aramis brama* (L.) // Вопросы ихтиологии. Т. 14. Вып. 2 (85). С. 249–264.
- Гершанович А. Д., Лапин В. И., Шатуновский М. И. 1991. Особенности обмена липидов у рыб // Успехи современной биологии. Т. 3. Вып. 2. С. 207–219.
- Гриневич Ю. А., Алферов А. Н. 1981. Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных // Лабораторное дело. № 8. С. 493–496.
- Зенков Н. К., Меньшикова Е. Б., Вольский Н. Н., Козлов В. А. 1999. Внутриклеточный окислительный стресс и апоптоз // Успехи современной биологии. Т. 119. № 5. С. 440–450.
- Кейтс М. 1975. Техника липидологии. М.: Мир. 322 с. (Cates M., 1972. Techniques of Lipidology. Ottawa: North Holland Publishing Company).
- Койко Р., Саншайн Д., Бенджамини Э. 2008. Иммунология: Уч. пособие. М.: Академия. 368 с. (Coico R., Sunshine G., Benjamini E. 2003. Immunology. A Short Course. John Wiley & Sons, Inc.).
- Лакин Г. Ф. 1980. Биометрия. М.: Высшая школа. 293 с.
- Логинов С. И., Смирнов П. Н., Трунов А. Н. 1999. Иммунные комплексы у животных и человека: норма и патология. РАСХН. Сиб. отд-ние. ИЭВ-СиДВ. Новосибирск. 144 с.
- Меньшикова Е. Б., Зенков Н. К., Ланкин В. Э. Бондарев И. А., Труфакин В. А. 2008. Окислительный стресс: патологические состояния и заболевания. Новосибирск: АРТА. 284 с.
- Микряков В. Р. 1991. Закономерности формирования приобретенного иммунитета у рыб. Рыбинск: ИБВВ РАН. 154 с.
- Микряков В. Р., Володин В. М., Межнин Ф. И. 1976. Иммунофизиологическое состояние леща в период резорбции икры // Гидробиологический журнал. Т. 12. № 3. С. 79–82.
- Микряков В. Р., Балабанова Л. В., Заботкина Е. А., Лапирова Т. Б., Попов А. В., Силкина Н. И. 2001. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука. 126 с.
- Микряков В. Р., Силкина Н. И., Микряков Д. В. 2011. Влияние антропогенного загрязнения на иммунологические и биохимические механизмы поддержания гомеостаза у рыб Черного моря // Биология моря. Т. 37. № 2. С. 142–148.
- Моисеенко Т. И. 2009. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука. 400 с.
- Никольский Г. В. 2013. Избранные труды. Т. 2. М.: Изд-во ВНИРО. 600 с.
- Поддубный А. Г., Володин В. В., Конобеева В. К., Лакицкий И. И. 1984. Эффективность воспроизводства рыбных запасов в водохранилищах // Биологические ресурсы водохранилищ. М.: Наука. С. 204–227.
- Семенов В. Л., Ярош А. М. 1985. Метод определения антиокислительной активности биологического материала // Украинский биохимический журнал. 57 (3). С. 50–52.
- Сидоров В. С. 1983. Экологическая биохимия. Липиды. Л.: Наука. 240 с.
- Силкина Н. И., Микряков Д. В., Микряков В. Р. 2012. Влияние антропогенного загрязнения на окислительные процессы в печени рыб Рыбинского водохранилища // Экология. № 5. С. 361–365.
- Шатуновский М. И. 1980. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука. 288 с.
- Хаитов Р. М., Ярилин А. А., Пинегин Б. В. 2011. Иммунология: атлас. М.: ГЭОТАР-Медиа. 624 с.
- Folch J., Lees M., Stenley G. N. A 1957. Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem. V. 226. № 3. P. 497–509.
- Rudneva I. I., Kuzminova N. S. 2011. Effect of chronic pollution on hepatic antioxidant system of Black Sea

- fish species // Int. J. Sci. and Nature. V. 2. № 2. P. 279–286.
- Van der Marel M. C.* 2012. Carp mucus and its role in mucosal defense. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands. 189 p.
- Van Muiswinkel W., Vervoorn-Van Der Wal B.* 2006. The immune system of fish // Fish Diseases and Disorders. Vol. 1. P. 678–701.
- Winston G. W.* 1991. Oxidants and antioxidants in aquatic animals // Compar. biochem. and Physiol. V.100. № 1–2. P. 173–176.

REFERENCE

- Andreeva L.I., Kozhemyakin N.A., Kishkun A.A.* 1988. Modifikaciya metodov opredeleniya perekisej lipidov v teste s tiobarbiturovoj kislotoj [Modification of methods for determining lipid peroxides in the thiobarbituric acid test] // Laboratornoe delo. № 11. S. 41–43.
- Bolotnikov I.A.* 1991. Slovar' immunologicheskikh terminov [Dictionary of immunological terms]. M.: Rosagropromizdat. C. 125.
- Volodin V.M.* 1978. Kachestvennyj sostav nerestovogo stada i vospriyvodstvo zapasov ryb [The qualitative composition of the spawning population and reproduction of fish stocks] // Teoreticheskie aspekty rybohozyajstvennyh issledovanij vodohranilishch. L.: Nauka. S. 22–42.
- Volodin V.M.* 1982. Plodovitost' leshcha *Abramis brama* (L.). (Cyprinidae) Rybinskogo vodohranilishcha [The fecundity of bream *Abramis brama* (L.). (Cyprinidae) in the Rybinsk reservoir // Voprosy ihtiologii. T. 22. Vyp. 2. S. 246–252.
- Volodin V.M.* 1990. Sostoyanie vospriyvoditel'noj sistemy i plodovitost' ryb v Severo-SHeksninskem plese Rybinskogo vodohranilishcha [The State of Reproductive System and Fecundity of Fishes from the Northern Sheksna Pool of the Rybinsk Reservoir] // Vliyanie stokov Cherepoveckogo promyshlennogo uzla na ekologicheskoe sostoyanie Rybinskogo vodohranilishcha. Rybinsk. S. 101–122.
- Volodin V.M., Mezhnin F.I., Kuz'mina V.V.* 1974. Ehksperimental'noe izuchenie rezorbciij ikry leshcha *Abramis brama* (L.) [Experimental study of the resorption of eggs of bream *Abramis brama* (L.)] // Voprosy ihtiologii. T. 14. Vyp. 2 (85). S. 249–264.
- Gershovich A.D., Lapin V.I., Shatunovskij M.I.* 1991. Osobennosti obmena lipidov u ryb // Uspekhi sovrem. biologii. T. 3. Vyp. 2. S. 207–219.
- Grinevich Yu.A., Alferov A. N.* 1981. Opredelenie immunnyh kompleksov v krovi onkologicheskikh bol'nyh [Determination of immune complexes in the blood of cancer patients] // Laboratornoe delo. № 8. S. 493–496.
- Zenkov N. K., Men'shikova E.B., Vol'skij N.N., Kozlov V.A.* 1999. Vnutrikletchnyj okislitel'nyj stress i apoptoz [Intracellular oxidative stress and apoptosis] // Uspekhi sovremennoj biologii. T. 119. № 5. S. 440–450.
- Lakin G.F.* 1980. Biometriya [Biometrics]. M.: Vysshaya shkola. 293 s.
- Loginov S.I., Smirnov P.N., Trunov A.N.* 1999. Immunnnye kompleksy u zhivotnyh i cheloveka: norma i patologiya [Immune Complexes in Animals and Humans: the Norm and Pathology]. RASKHN. Sib. Otd-nie. IEHVSiDV. Novosibirsk. 144 s.
- Men'shikova E.B., Zenkov N.K., Lakin V.Z., Bondar' I.A., Trufakin V.A.* 2008. Okislitel'nyj stress: patologicheskie sostoyaniya i zabolевaniya [Oxidative Stress: Pathological Conditions and Diseases]. Novosibirsk: ARTA. 284 s.
- Mikryakov V.R.* 1991. Zakonomernosti formirovaniya priobretennogo immuniteta u ryb [Trends of fishes acquired immunity development]. Rybinsk: IBVV RAN. 154 c.
- Mikryakov V.R., Volodin V.M., Mezhnin F.I.* 1976. Immunofiziologicheskoe sostoyanie leshcha v period rezorbciij ikry [Immunobiological condition of bream in the period of resorption of caviar] // Gidrobiologicheskij zhurnal. T. 12. № 3. S. 79–82.
- Mikryakov V.R., Balabanova L.V., Zabotkina E.A., Lapirova T.B., Popov A.V., Silkina N.I.* 2001. Reakciya immunnoj sistemy ryb na zagryaznenie vody toksikantami i zakislenie sredy [Reaction of fishes immune system to water acidification and pollution by toxicants]. M.: Nauka. 126 c.
- Mikryakov V.R., Silkina N.I., Mikryakov D.V.* 2011. Vliyanie antropogenного загрязнения на иммунологические и биохимические механизмы поддерханий гомеостаза у рыб Черного моря [Effect of Anthropogenic Pollution on the Immunological and Biochemical Mechanisms of Maintaining Homeostasis in Fish of the Black Sea] // Biologiya morya. T. 37. № 2. S. 142–148.
- Moiseenko T.I.* 2009. Vodnaya ekotoksikologiya: Teoreticheskie i prikladnye aspekty [Aquatic Ecotoxicology: Theoretical and Applied Aspects]. M.: Nauka. 400 c.
- Nikol'skij G.V.* 2013. Izbrannye trudy [Selected scientific works]. T. 2. M.: Izdatel'stvo VNIRO. 600 s.
- Poddubnyj A. G., Volodin V.V., Konobeeva V.K., Lakickij I.I.* 1984. Ehffektivnost' vospriyvodstva rybnyh zapasov v vodohranilishchah [The effectiveness of reproduction of fish stocks in reservoirs] // Biologicheskie resursy vodohranilishch. M.: Nauka. S. 204–227.
- Semenov V.L., Yarosh A.M.* 1985. Metod opredeleniya antioksidant'noj aktivnosti biologicheskogo materiala [Method for determination of antioxidant activity of biological material] // Ukrainskij biohimicheskij zhurnal. 57(3). S. 50–52.

- Sidorov V.S. 1983. Ehkologicheskaya biohimiya. Lipidy [Ecological Biochemistry: Lipids]. L.: Nauka. 240 s.
- Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R. 2012. Vliyanie antropogenного загрязнения на окислительные процессы в печени рыб Рыбинского водохранилища [Effect of Anthropogenic Pollution on Oxidative Processes in the Liver of Fish from the Rybinsk Reservoir] // Ehkologiya. № 5. S. 361–365.
- Shatunovskij M.I. 1980. Ehkologicheskie zakonomernosti obmena veshchestv morskikh ryb [Ecological regularities of metabolism of marine fish]. M.: Nauka. 238 s.
- Haitov R.M., Yarilin A.A., Pinegin B.V. 2011. Immunologiya: atlas [Immunology: atlas]. M.: GEHOTAR-Media. 624 s.

Поступила в редакцию 10.09.2017 г.
Принята после рецензии 26.09.2017 г.

The effect of resorption of eggs in the functioning of the immuno-biochemical mechanisms of homeostasis bream of the Rybinsk reservoir

V.R. Mikryakov, N.I. Silkina

I. D. Papanin' Institute for Biology of Inland Waters RAS (FSBIS «IBIW RAS»), Borok

The results of a comparative study of some immunological and biochemical parameters in females of bream of the Rybinsk reservoir with signs of resorption of eggs and no abnormalities of gametogenesis. Fish with total resorption of calves with females that are on the VI stage of ripening of sexual products, recorded low rates of bactericidal activity of blood serum and antioxidants and a high level of immunocompromised individuals, immune complexes and lipid peroxidation. They also differed in the relative content of individual fractions of lipids: phospholipids, cholesterol, nonesterified free fatty acids, triacylglycerols, esters of sterols. Installed modifications in the functioning of the immuno-biochemical mechanisms of homeostasis of females with signs of resorption of fish should be considered as the reaction of fish to the violation of the balanced biochemical and immunological processes. In the body of females bream with caviar rezorbsii observed destabilization of the structurally-functional state of the mechanisms of immuno-biochemical homeostasis, activation of processes of regressive development and the depletion of vital resources.

Key words: bream *Abramis brama*, humoral immunity, lipids, lipid fractions, prooxidant-antioxidant system.