

## УРОВЕНЬ НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ ИММУННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТКАНЯХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ-ВСЕЛЕНЦЕВ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2023 Соколова А.С.\*, Микряков В.Р., Микряков Д.В.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742 пос. Борок, Ярославская обл.,  
Некоузский р-н, Россия  
e-mail: \*Aleksandrasokol@rambler.ru

Поступила в редакцию 04.06.2022. После доработки 20.01.2023. Принята к публикации 10.02.2023

Проведено исследование содержания неспецифических иммунных комплексов и интенсивности окислительных процессов в тканях двустворчатых моллюсков-вселенцев *Dreissena polymorpha*, *D. bugensis* и *Corbicula fluminea* Горьковского водохранилища. При сравнительном анализе установлены отличия количественных показателей иммунных комплексов и малонового диальдегида между *C. fluminea* и дрейссенидами. Выявленные межвидовые различия, по-видимому, связаны как с отличительными особенностями образа жизни и морфо-физиологических параметров, так и с адаптационными возможностями организма, связанными с эффективностью работы иммунной и антиоксидантной систем.

**Ключевые слова:** двустворчатые моллюски, виды-вселенцы, иммунные комплексы, перекисное окисление липидов, антиоксидантная активность, Горьковское водохранилище.

DOI: 10.35885/1996-1499-16-1-146-152

### Введение

Проблема биологических инвазий чужеродных видов стала актуальной для человечества во второй половине XX в. Строительство каналов, хозяйственная деятельность по деформации природных экосистем, увеличенный объём перевозок грузов, непреднамеренная интродукция привели к гигантскому росту числа случаев расширения видами своих естественных ареалов [Дгебуадзе, 2003].

Горьковское водохранилище (вдхр.) на р. Волге, часть Волжско-Камского каскада, создано в 1955–1957 гг. плотиной Горьковского гидроузла. В Горьковском вдхр. обитают более 50 видов рыб и 400 водных беспозвоночных, из которых 60 видов относятся к типу Mollusca [Экологические проблемы..., 2001]. Значительную роль в экосистеме водохранилища играют два вида двустворчатых моллюсков: *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) и *D. bugensis* (Andrusov, 1897). Это активные биофильтраторы, которые при массовом заселении водоёма за короткое время могут профильтровать весь объём воды, что приводит

к увеличению прозрачности и изменению условий среды обитания [Strayer et al., 1999; Vanni, 2002; Newell, 2004]. Оба вида относятся к моллюскам-вселенцам. *D. polymorpha* впервые был зафиксирован в Горьковском вдхр. в 1964 г. [Скальская, 2000]. *D. bugensis* в водоёмах Средней и Нижней Волги впервые найден в 1980-х гг., а в водоёмах Верхней Волги в 1996 г. [Орлова, Щербина, 2003]. *D. polymorpha*, в основном, обитает на мелководьях, тогда как *D. bugensis* чаще встречается в более глубоких местах обитания [Neumann, Jenner, 1992]. Дрейссениды способны существовать в достаточно широком диапазоне температур, при температуре 15 °C начинается нерест, а при 10 °C прекращается рост и развитие моллюсков [Алимов, 1981; Львова, Макарова, 1994]. При этом верхняя температурная граница для *D. polymorpha* составляет 32 °C [Ляхнович и др., 1994], а для *D. bugensis* – 25 °C [Farr, Payne, 2010]. По отношению к растворённому кислороду *D. polymorpha* более оксифильна, чем *D. bugensis*, критическое насыщение кислородом воды, при котором

дрейссениды переходят на анаэробное дыхание, составляет 25%, или 2.35 мг/л при температуре 20 °С [Karatajev et al., 2005]. Их расселение в пресные водоёмы лимитируется содержанием ионов кальция в воде, концентрация которых менее 0.35 ммоль/л (14 мг/л) губительна для моллюсков [Мартемьянов, 2017].

Азиатский пресноводный моллюск *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) за последние годы значительно расширил ареал по всему миру. Нативный диапазон данного вида – Центральная Азия, север Африки и северо-восточная часть Кавказа [Sousa et al., 2008]. Распределение моллюска ограничено низкими температурами [Crespo et al., 2015; Gama et al., 2016]. Начало роста и развития у *C. fluminea* происходит так же, как и у *Dreissenidae*, при температуре воды 10–11 °С, нерестится только при 13–16 °С, а верхний лимит обитания – выше 37 °С [Karatajev et al., 2005]. В 2015 г. в Горьковском вдхр. был обнаружен один ювенильный экземпляр этого вида [Perova et al., 2017], а в 2017 г. отловлены взрослые особи [Пряничникова и др., 2019]. Данный вид был обнаружен в каналах водоёма-охладителя Костромской ГРЭС, где вода подогревается и в зимний период до 20 °С. Данные условия схожи с основным ареалом моллюска, где температура воды в водоёмах колеблется от 6 до 28 °С [Stites et al., 1995]. Стремительное распространение данного вида связано с его биологическими характеристиками: быстрый рост, ранняя половая зрелость, высокая плодовитость и физиологическая толерантность, разнообразие стратегий размножения. При массовом заселении водоёма за счёт высокой скорости фильтрации и ограничения планктонной пищи *C. fluminea* способен заместить или сократить доступные места обитания других донных видов моллюсков [Karatajev et al., 2005].

Успешное расширение своих естественных ареалов вселенцами, вероятно, связано не только со скоростью роста, ранней половой зрелостью и высокой плодовитостью, но и устойчивостью организма к различным воздействиям. Однако информации об участии внутренних систем организма вселенцев в обеспечении приспособления к новой среде

обитания практически нет. Одни из важнейших регуляторов гомеостаза внутренней среды – иммунная и антиоксидантная системы. Хорошо развитые механизмы врождённого иммунитета у моллюсков позволяют своевременно обнаружить и нейтрализовать чужеродные тела. При попадании чужеродного антигена в организм различные гуморальные факторы, такие как агглютинины, лизины, бактериоцитидины, компоненты профенилоксидазной системы и лимфокиноподобные факторы и другие опсонизируют его. Далее фагоцитирующие клетки гемолимфы с помощью лизинов и гемолизинов уничтожают антиген [Галактионов, 1995]. Прооксидант-антиоксидантная система поддерживает динамическое равновесие окислительно-восстановительного баланса и регулирует метаболические процессы в организме. При воздействии стресс-факторов происходит активация окислительных процессов, которая связана с избыточным накоплением активных форм кислорода (АФК). Избыток АФК (супероксидный и гидроксильный радикалы, синглетный кислород, пероксиды и многие другие соединения) становится причиной активации перекисного окисления липидов, инактивации структур антиокислительной защиты и нарушения динамического равновесия в системе прооксидант – антиоксидант в сторону образования оксидантов. Согласно существующим представлениям, антиокислительная защита осуществляется антиоксидантной системой клеток и тканей (антиоксидантными ферментами: супероксиддисмутазой, каталазой, глутатионпероксидазой, глутатион – s-трансферазой) и низкомолекулярными антиоксидантными соединениями ( $\alpha$ -токоферолом, восстановленным глутатионом, фенольной формой коэнзима Q10,  $\beta$ -каротином, аскорбиновой кислотой и др.) [Viarengo et al., 1988; Winston, 1991; Меньшикова и др., 2008; Скулачёв, 2009; Черноморские моллюски..., 2014; Экотоксикологические исследования..., 2016].

Цель работы – сравнительная оценка содержания неспецифических иммунных комплексов и уровня окислительных процессов в тканях двустворчатых моллюсков-вселенцев Горьковского вдхр.

## Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили половозрелые особи *D. polymorpha* (138 шт.), *D. bugensis* (100 шт.) и *C. fluminea* (10 шт.), отловленные в ходе комплексной гидробиологической экспедиции (август 2018 г.) на научно-исследовательском судне «Академик Топчиев» ИБВВ РАН. Моллюсков отбирали на участке Горьковского вдхр., в месте впадения канала Костромской ГРЭС (57°48.010' с. ш.; 41°12.704' в. д.). Температура воды составляла 20–21 °С. Моллюсков отлавливали с лодки при помощи драги. После вылова мягкие ткани отделяли от раковины и сразу замораживали в морозильной камере при температуре –18 °С. В лабораторных условиях непосредственно перед анализом пробы размораживали при комнатной температуре. В лабораторных условиях для дальнейших исследований из тканей готовили суммарные гомогенаты от 3–15 моллюсков одного вида и размера (15–20 мм) на 0.6%-м физрастворе в соотношении 1 : 6 (масса к объёму).

В гомогенатах исследовали содержание неспецифических иммунных комплексов (ИК), продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и уровень антиокислительной активности (ОАА). Выбор данных показателей обусловлен тем, что они отражают реакцию гидробионтов на заражение паразитами, антропогенное загрязнение и изменение качества среды обитания [Будняк и др., 2007; Гостюхина, Головина, 2011; Довженко и др., 2014; Silkina et al., 2019].

Содержание ИК устанавливали на спектрофотометре при длине волны 450 нм методом селективной преципитации с 4%-ным полиэтиленгликолем молекулярной массой 6000 [Гриневиц, Алфёров, 1981].

Об интенсивности ПОЛ судили по накоплению малонового диальдегида (МДА) – одного из конечных продуктов перекисного окисления. Концентрацию МДА определяли по количеству продуктов ПОЛ, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой и дающих с ней окрашенный комплекс. Интенсивность окрашивания оценивали спектрофотометрически по изменению максимума поглощения при длине волны 535 нм. Содержание МДА вы-

числяли с учётом коэффициента молярной экстинкции ( $1.56 \times 10^5 M^{-1} \text{ см}^{-1}$ ) и выражали в наномолях на 1 г ткани [Андреева и др., 1988].

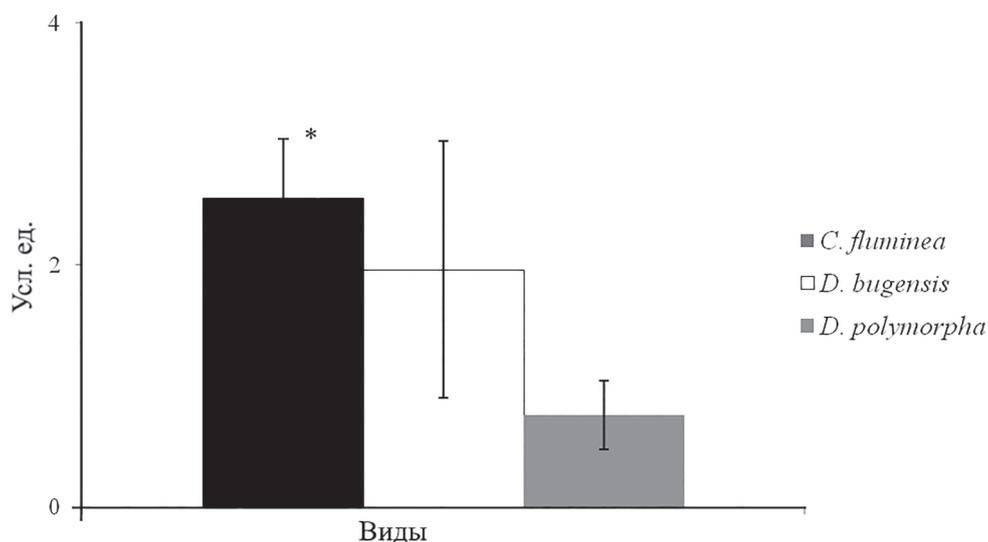
ОАА оценивали по кинетике окисления субстрата восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола кислородом воздуха по общепринятой методике, адаптированной для моллюсков. Сущность метода заключается в том, что чем выше скорость окисления субстрата в присутствии биологического материала, тем ниже содержание антиоксидантов в тканях. Константу ингибирования окисления субстрата (КОС), являющуюся показателем 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 в опыте;  $C$  – концентрация гомогената в кювете [Семенов, Ярош, 1985].

Статистическая и графическая обработка данных проведена с помощью прикладных программ Microsoft Office Excel 2003, Statistica 6.0. Для выявления видовых различий применяли непараметрический критерий U Манна – Уитни.

## Результаты и обсуждения

Анализ полученных результатов показал, что количественные характеристики ИК у *C. fluminea* превышали аналогичный показатель *D. bugensis* и *D. polymorpha* (рис. 1).

Известно, что образование ИК – комплексов антиген-антитело – составная часть нормального иммунного ответа, направленного на удаление из организма генетически чужеродных агентов. Они играют важную роль в процессах регуляции иммунных реакций, элиминации ксенобиотиков из организма и в поддержании гомеостаза. Избыточное образование ИК, как правило, происходит при насыщении организма чужеродными телами, в том числе аутоантигенами, поллютантами и инфекционными агентами вследствие снижения клиринговой функции клеток фагоцитарной системы [Ройт и др., 2000; Койко и др., 2008]. Высокий показатель ИК в экстрактах тканей *C. fluminea* свидетельствует о

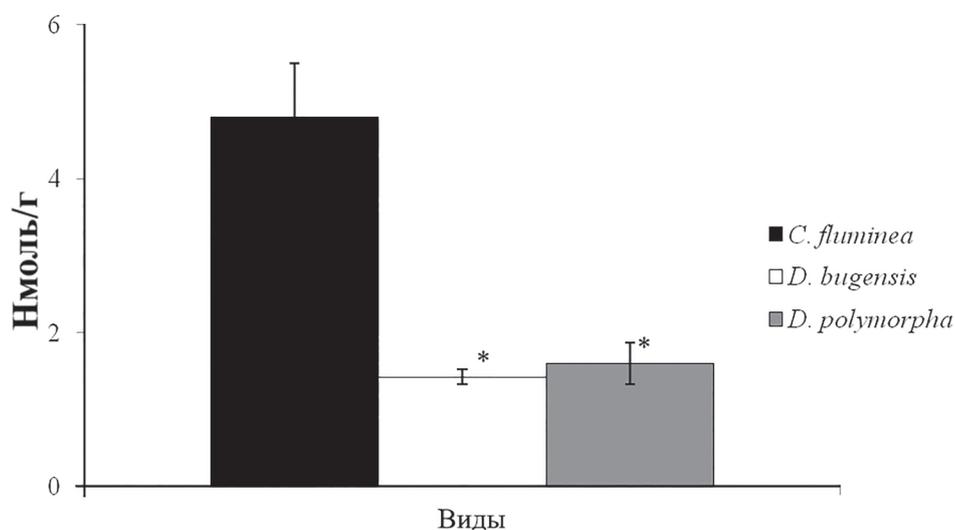


**Рис 1.** Уровень неспецифических иммунных комплексов. «\*» – достоверно относительно *D. polymorpha* при  $p \leq 0.05$ . Здесь и далее: полосы погрешности на гистограммах отражают ошибку среднего  $M \pm m$ .

накоплении этих комплексов в организме, что приводит к нарушению механизмов элиминации. Вероятно, в процессе приспособления к новой среде обитания в организм поступает значительное количество новых для *C. fluminea* чужеродных тел, на которые активно реагирует иммунная система. В организме *D. polymorpha* уровень образования ИК значимо ниже, чем у *C. fluminea*. По-видимому, отличия в уровне ИК у исследуемых видов, связаны с эффективностью работы механизмов иммунной защиты, от которых зависит успешное освоение вселенцами новых ареалов.

Сходный характер различий зафиксирован при исследовании показателей прооксидант-антиоксидантной системы. У *C. fluminea* уровень МДА и величина КОС выше, чем у дрейссенид (рис. 2, 3).

Однако значимые различия между моллюсками зафиксированы только по содержанию МДА. Образование МДА происходит в результате свободно-радикального окисления полиненасыщенных жирных кислот фосфолипидов клеточных мембран АФК. Следует отметить, что в стационарных условиях во всех клетках живого организма в небольших количествах постоянно образуются свобод-



**Рис. 2.** Содержание малонового диальдегида («\*» – достоверно относительно *C. fluminea* при  $p \leq 0.05$ .)

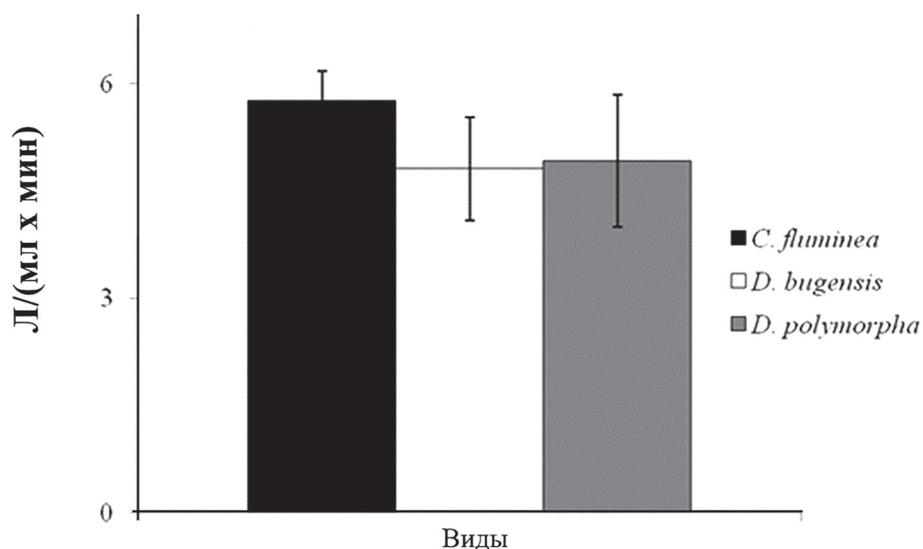


Рис. 3. Уровень антиокислительной активности.

ные радикалы или АФК, которые участвуют в процессах клеточного метаболизма. В настоящее время исследование содержания МДА в тканях моллюсков широко используется в качестве биомаркеров в экологических и экотоксикологических исследованиях для оценки качества условий среды обитания и характера реагирования на токсиканты [Будняк и др., 2007; Гостюхина, Головина, 2011; Довженко и др., 2014; Черноморские моллюски..., 2014; Экотоксикологические исследования..., 2016; Климова, Чуйко, 2017; Klimova et al., 2020].

При воздействии негативных стресс-факторов происходит активация процессов окислительного стресса, которая связана с избыточным накоплением АФК, и как следствие нарушение динамического равновесия окислительно-восстановительного баланса (или редокс-потенциала), обеспечиваемое прооксидант-антиоксидантной системой. Негативное влияние АФК на клетки нейтрализуется ферментными и неферментными антиоксидантами, об уровне содержания которых судили по величине КОС. Высокое содержание МДА в тканях *C. fluminea*, вероятно, связано со стрессовым состоянием организма, возникающим в процессе освоения нового места обитания. Однако незначительные отличия показателя КОС между *C. fluminea* и дрейсенидами свидетельствуют об эффективной работе антиоксидантной системы у всех ис-

следуемых видов вселенцев, что, возможно, способствует успешному освоению новых акваторий.

Зафиксированное отличие некоторых исследуемых показателей в организме *C. fluminea*, вероятно, связано с процессами адаптации к новым условиям среды обитания: гидрологическим характеристикам, температурному режиму, количественному и качественному разнообразию планктонной пищи, содержанию микроэлементов и кислорода в воде и т. д.

### Заключение

Проведенное исследование показало отличия показателей ИК, МДА и КОС между *C. fluminea* и дрейсенидами. Выявленные различия, вероятно, связаны как с межвидовыми отличиями образа жизни, питания, физиологии, так и с уровнем адаптации к условиям обитания. Это выражается в скорости нейтрализации антигенов с помощью механизмов иммунной системы и интенсивности окислительных процессов в организме *C. fluminea*.

### Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН: в. н. с. Карабанову Д.П., н. с. Павлову Д.Д., н. с. Сабитовой Р.З. за помощь в отборе проб.

## Финансирование работы

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 121050500046-8).

## Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## Соблюдение этических стандартов

Статья не содержит никаких исследований с участием животных в экспериментах, выполненных кем-либо из авторов.

## Литература

- Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. Л.: Наука, 1981. 248 с.
- Андреева Л.И., Кожемякин Н.А., Кишкун А.А. Модификация методов определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой // Лабораторное дело. 1988. № 11. С. 41–43.
- Будняк А.К., Захариева З.Е., Сорокин А.В. Петров С.А. Состояние окислительно-восстановительной системы в органах Черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* в присутствии солей цинка и меди в среде обитания // Вестник ОНУ. 2007. Т. 12. № 5. С. 19–24.
- Галактионов В.Г. Очерки эволюционной иммунологии. М.: Наука, 1995. С. 256.
- Гостюхина О.Л., Головина И.В. Состояние антиоксидантного комплекса и перекисного окисления липидов в тканях мидии из Севастопольских бухт в ранневесенний период // Экологическая химия. 2011. № 20 (4). С. 211–217.
- Гриневич Ю.А., Алфёров А.Н. Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных // Лабораторное дело. 1981. № 8. С. 493–496.
- Дгебуадзе Ю.Ю. Национальная стратегия, состояние, тенденции, исследования, управление и приоритеты в отношении инвазий чужеродных видов на территории России // В сб.: Инвазии чужеродных видов в Голарктике. Мат. российско-американского симпозиума / Под. ред. Д.С. Павлова, Ю.Ю. Дгебуадзе, Л.Г. Корневой, Ю.В. Слынько. Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2003 г. С. 26–34.
- Довженко Н.В., Бельчева Н.Н., Челомин В.П. Реакция антиоксидантной системы мидии Грея *Mytilus grayanus* как индикатор загрязнения прибрежных акваторий (залив Петра Великого в Японском море) // Вестник МГОУ. Сер. естественные науки. 2014. № 4. С. 57–66.
- Климова Я.С., Чуйко Г.М. Показатели системы антиоксидантной защиты у двустворчатых пресноводных моллюсков *D. polymorpha* (Pallas) из участков Рыбинского водохранилища с различной степенью антропогенного загрязнения // Вода: химия и экология. 2017. № 5 (107). С. 38–43.
- Койко Р., Саншайн Д., Бенджамини Э. Иммунология: Учебное пособие. М.: Академия, 2008. 368 с.
- Львова А.А., Макарова Г.Е. Гаметогенез, репродуктивный цикл // В кн.: Дрейссена: систематика, экология, практическое значение. М.: Наука, 1994. С. 138–149.
- Ляхнович В.П., Каратаев А.Ю., Ляхов С.М., Андреев Н.И., Андреева С.И., Афанасьев С.А., Дыга А.К., Закутский В.П., Золотарева В.И., Львова А.А., Некрасова М.Я., Осадчих В.Ф., Плигин Ю.В., Протасов А.А., Тишиков Г.М. Условия обитания // В кн.: Дрейссена: систематика, экология, практическое значение. М.: Наука, 1994. С. 109–119.
- Мартемьянов В.И. Современные представления о механизмах транспорта ионов натрия пресноводными гидробионтами из внешней среды // Биологические мембраны. 2017. Т. 34. № 2. С. 79–90.
- Меньшикова Е.Б., Зенков Н.К., Ланкин В.З., Бондарь И.А., Труфакин В.А. Окислительный стресс: патологические состояния и заболевания. Новосибирск: АРТА, 2008. 284 с.
- Орлова М.И., Щербина Г.Х. *Dreissena bugensis* (Andr.) (*Dreissenidae*, *Bivalvia*): расширение ареала в Европе, история и пути инвазии, дальнейшие пути распространения // В сб.: Инвазии чужеродных видов в Голарктике. Мат. российско-американского симпозиума / Под. ред. Д.С. Павлова, Ю.Ю. Дгебуадзе, Л.Г. Корневой, Ю.В. Слынько. Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2003 г. С. 152–154.
- Пряничникова Е.Г., Ворошилова И.С., Сабитова Р.З. Вселение *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) (*Mollusca*: *Bivalvia*: *Corbiculidae*) в бассейн Волги // Биология внутренних вод. 2019. № 2. С. 95–98.
- Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д. Иммунология. М.: Мир, 2000. 592 с.
- Семенов В.Л., Ярош А.М. Метод определения антиоксидантной активности биологического материала // Украинский биохимический журнал. 1985. Т. 57. № 3. С. 50–51.
- Скальская И.А. Дрейссена (*Dreissena Polymorpha* (Pall.)) Верхней Волги: расселение, структура популяций и современные темпы воспроизводства численности // Биология внутренних вод. 2000. № 3. С. 68–78.
- Скулачёв В.П. Новые сведения о биохимическом механизме запрограммированного старения организма и антиоксидантной защите митохондрий // Биохимия. 2009. Т. 74. № 12. С. 1718–1721.
- Черноморские моллюски: элементы сравнительной и экологической биохимии / Под ред. Г.Е. Шульмана, А.А. Солдатова. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. 323 с.
- Экологические проблемы Верхней Волги / Ред. А.И. Копылов. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. 427 с.
- Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя / Руднева И.И. М.: ГЕОС, 2016. 360 с.
- Crespo D., Dolbeth M., Leston S., Sousa R., Pardal M.A. Distribution of *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) in the invaded range: a geographic approach with notes on species traits variability // Biological Invasions. 2015. Vol. 17. No. 7. P. 2087–2101.

- Farr M.D., Payne B.S. Environmental Habitat Conditions Associated with Freshwater *Dreissenids*. Vicksburg: Engineer research and development center vicksburg ms environmental lab, 2010. 32 p.
- Gama M., Crespo D., Dolbeth M., Anastacio P. Predicting global habitat suitability for *Corbicula fluminea* using species distribution models: the importance of different environmental datasets // Ecological Modelling. 2016. Vol. 319. P. 163–169.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Padilla D.K. Contrasting distribution and impacts of two freshwater exotic suspension feeders, *Dreissena polymorpha* and *Corbicula fluminea* // The Comparative Roles of Suspension-feeders in Ecosystems. Dordrecht: Springer, 2005. P. 239–262.
- Klimova Y.S., Chuiko G.M., Pesnya D.S., Ivanova E.S. Biomarkers of oxidative stress in freshwater Bivalve mollusks (review) // Inland Water Biology. 2020. Vol. 13. No. 4. P. 674 – 683.
- Neumann D., Jenner H.A. The Zebra Mussel *Dreissena polymorpha*. Stuttgart, Jena, New York, 1992. 262 p.
- Newell R.I.E. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review // Journal of Shellfish Research. 2004. Vol. 23. P. 51–61.
- Perova S.N., Pryanichnikova E.G., Zhigareva N. N. Invasive species in the makrozoobenthos of the Volga reservoirs // Invasion of alien species in Holarctic. The V International Symposium / Ed. Yu. Yu. Dgebuadze. Филигрань, 2017. P. 88.
- Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R., Sokolova A.S. Influence of anthropogenic contamination on the content of Immune complexes and lipids and on the oxidative processes in *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) // Hydrobiological Journal. 2019. Vol. 55. No. 3. 53–58 p.
- Sousa R., Antunes R.C., Guilhermino L. Ecology of the invasive Asian clam *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) in aquatic ecosystems: an overview // Annales De Limnologie International Journal of Limnology. 2008. Vol. 44. P. 85–94.
- Stites D.L., Benke A.C., Gillespie D.M. Population dynamics, growth, and production of the Asiatic clam, *Corbicula fluminea*, in a Blackwater River // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1995. Vol. 52. P. 425–437.
- Strayer D.L., Caraco N.F., Cole J.J., Findlay S., Pace M.L. Transformation of freshwater ecosystems by bivalves – A case study of zebra mussels in the Hudson River // BioScience. 1999. Vol. 49. P. 19–28.
- Vanni M.J. Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems // Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 2002. Vol. 33. P. 341–370.
- Viarengo A., Pertica M., Canesi I., Biasi F., Cecchini G., Orunesu M. Effects of heavy metals on lipid peroxidation in mussel tissues // Marina Environmental Research. 1988. Vol. 24. No. 1–4. P. 354–358.
- Winston G.W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals // Comparative Biochemistry Physiology. 1991. Vol. 100. No. 1–2. P. 173–176.

## THE LEVEL OF NONSPECIFIC IMMUNE COMPLEXES AND OXIDATIVE PROCESSES IN THE TISSUES OF BIVALVE MOLLUSKS-INVADERS OF THE GORKY RESERVOIR

© 2023 Sokolova A.S.\*, Mikryakov V.R., Mikryakov D.V.

Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences,  
Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl Region, 152742, Russia  
e-mail: \*Aleksandrasokol@rambler.ru

The content of nonspecific immune complexes and the intensity of oxidative processes in the tissues of invasive bivalve molluscs *Dreissena polymorpha*, *D. bugensis*, and *Corbicula fluminea* of the Gorky Reservoir were studied. Comparative analysis revealed differences in the quantitative parameters of immune complexes and malondialdehyde between *C. fluminea* and Dreissenidae. The identified interspecies differences seem to be associated both with the distinctive features of the lifestyle and morphological and physiological parameters, and with the adaptive capabilities of the body associated with the efficiency of the immune and antioxidant systems.

**Key words:** bivalve mollusks, invaders, immune complexes, lipid peroxidation, antioxidant activity, Gorky reservoir.