

УДК 594-11+574.632 (285.2)

**НЕКОТОРЫЕ ИММУНОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ  
*DREISSENA POLYMORPHA* ИЗ РАЗНЫХ  
ПО СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
УЧАСТКОВ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА\***

**Т.Б. Лапирова, Г.М. Чуйко, Е.Г. Пряничникова**

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок

Представлен анализ данных по ряду иммунофизиологических параметров *Dreissena polymorpha* (Pall.) из Рыбинского водохранилища. Содержание общего белка и глюкозы в гемолимфе у моллюсков, отобранных в районах с разным уровнем содержания загрязняющих веществ, неодинаковое. В зоне непосредственного поступления стоков Череповецкого коммунально-промышленного комплекса, где выявлено самое высокое содержание ПХБ в донных отложениях, моллюски имеют максимальный уровень лизоцимной активности гемолимфы.

**Ключевые слова:** Рыбинское водохранилище, загрязняющие вещества, дрейссена, *Dreissena polymorpha*, гемолимфа, общий белок, глюкоза, лизоцим.

**Введение.** Дрейссена речная (*Dreissena polymorpha* Pall.) – пресноводный пластинчатожаберный моллюск, относится к классу Bivalvia, отр. Cardiiformes, сем. Dreissenidae. В настоящее время широко распространена в водоемах европейской части России вплоть до Западного Казахстана. Во взрослом состоянии моллюски прикрепляются к субстрату при помощи биссусных нитей и ведут практически неподвижный образ жизни, являются главными фильтраторами пресных водоемов.

По типу питания дрейссену относят к гетеротрофам, по способу добывания пищи – к прикрепленным сестонофагам, по спектру питания – к стенофагам. Пища поступает при втягивании воды, при этом из нее забираются мельчайшие пищевые частицы, прежде всего водоросли и планктоногенный детрит [20].

При исследовании процессов трансформации ксенобиотиков в водоеме было выявлено, что из всех поступающих в воду загрязняющих веществ (ЗВ) лишь небольшие количества остаются в растворенном состоянии в воде, большая же часть сорбируется на взвешенных минеральных и органических частицах, оседает с ними на дно, аккумулируется в донных отложениях (ДО) и включается в пищевые сети через бентосные организмы [21].

---

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 08-05-00805, 10-05-10058)

Являясь бентосным организмом и одновременно фильтратором, дрейссена получает загрязняющие вещества как из окружающей воды, так и из донных отложений. Учитывая это обстоятельство, а также широкое распространение моллюска, представляется возможным использование дрейссены в качестве индикаторного организма при мониторинговых исследованиях водных объектов. Однако однозначно вопрос о пригодности ее для этих целей до сих пор не решен. Значение дрейссены как тест-объекта заметно снижает ее высокая экологическая пластичность и резистентность к внешним воздействиям. На настоящий момент практически отсутствуют сведения по уровням основных параметров физиологического статуса дрейссены и влияния на них антропогенных факторов.

Рыбинское водохранилище – одно из крупнейших среди водохранилищ Волжского каскада. При этом качество воды и ДО в различных его участках сильно различается. Наибольшая антропогенная нагрузка приходится на район Шекснинского плеса, куда поступает большое количество стоков с крупных промышленных объектов г. Череповца [7]. Вместе с тем, в других плесах также выявлены небольшие очаги локального загрязнения ДО [18].

В связи с вышеизложенным, целью нашей работы явилось изучение некоторых параметров иммунофизиологического состояния дрейссены из разных по степени загрязнения участков Рыбинского водохранилища. В задачу исследования входило определение наиболее общих физиологических показателей гемолимфы моллюска: содержания глюкозы и общего белка, а также уровня активности лизоцима, важного показателя состояния гуморального звена неспецифического иммунитета.

**Материал и методика.** Материал собран в конце июля — начале августа 2008 г. Станции отбора сообществ дрейссенид охватывают практически всю акваторию водохранилища (рис. 1). Отбор проб проводили с лодки с помощью модифицированного дночерпателя ДАК-100 с площадью захвата 0,01 м<sup>2</sup> (по 2 выемки) в трех точках на каждой станции. Глубина в местах сбора моллюсков составляла от 4 до 13 м.

Всего было исследовано более 150 особей дрейссены. На каждой станции отбирали наиболее крупные экземпляры для получения достаточного для анализа количества гемолимфы. Длину измеряли по морфологической оси и выражали в мм [5]. По всем пунктам отбора выборки были достаточно однородны по размеру, средняя длина раковины составила 24±1,2 мм. Поскольку дрейссена начинает размножаться, достигнув размера 10–11 мм [5], можно с уверенностью считать всех исследованных нами особей половозрелыми.

Анализ содержания белка в гемолимфе проводили по Бредфорд [22]. Концентрацию глюкозы определяли глюкозооксидазным методом.

Уровень лизоцима в гемолимфе анализировали турбидиметрическим методом [14]. Результаты представлены в виде средних и стандартных ошибок ( $\bar{x} \pm SE$ ) и обработаны статистически в программе Excel при уровне значимости  $p \leq 0,05$  с использованием t-критерия Стьюдента для оценки достоверности различий.



Р и с . 1. Карта Рыбинского водохранилища с указанием станций отбора проб

**Результаты и обсуждение.** Череповецкий коммунально-промышленный комплекс (КПК) является основным источником поступления загрязняющих веществ в Рыбинское водохранилище, Шекснинский плес которого представляет собой наиболее неблагоприятную часть его акватории.

Одной из наиболее опасных составляющих стоков являются полихлорированные бифенилы (ПХБ), впервые зарегистрированные в экосистеме водохранилища в 1987 г. после аварии на ОАО «Северсталь». При исследовании пространственного распределения ПХБ в Рыбинском водохранилище в воде эти соединения были обнаружены только в 1990–1993 гг. на двух станциях, в то время как в ДО они были выявлены по всему Шекснинскому плесу [17].

Максимальные уровни суммарного содержания ПХБ обнаруживаются вблизи г. Череповца, в непосредственной близости к городу и в его черте;

основную долю в общем содержании ПХБ составляют наиболее токсичные пента- и гексахлорированные конгенеры. На ст. Мякса и в остальных плесах уже доминируют менее токсичные тетрахлорированные конгенеры. Учитывая вышесказанное, был сделан вывод о влиянии Череповецкого КПК на уровень содержания ПХБ преимущественно в ДО Шекснинского плеса водохранилища [4; 18; 19].

Показано, что моллюски, как и рыбы, в той или иной степени накапливают и трансформируют ЗВ, содержащиеся в окружающей среде. Накопление происходит в результате процессов биосорбции при контакте органов и тканей гидробионтов с токсикантами, находящимися в воде в растворенном и адсорбированном на взвешенных частицах состоянии, а также аккумулярованными в ДО [11; 12].

Исследования, проведенные на Рыбинском водохранилище, подтверждают это положение: характер распределения ПХБ в бентосе и ДО сходный, максимальное содержание токсических соединений в личинках хирономид, олигохетах, брюхоногих моллюсках и дрейссене отмечено также в Шекснинском плесе. Их содержание в дрейссене в черте г. Череповца достигает 1.4 мкг/г сырой массы [6; 17]. Коэффициент биоаккумуляции ПХБ в системе ДО — дрейссена, рассчитанный для наименее загрязненного ими Волжского плеса водохранилища, составляет в среднем 4.94 [4]. Приводятся также данные, что накопление дрейссеной ПХБ и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) может достигать 800 и 1000 нг/г сухого веса соответственно. При этом у моллюсков наблюдается снижение стабильности лизосом, повышение уровня протеинов, обеспечивающих устойчивость к мультиксенобиотикам и т.д. [24]. Таким образом, несмотря на высокую устойчивость дрейссены к влиянию факторов среды, длительное воздействие загрязняющих веществ может вызывать у нее сдвиг некоторых физиологических показателей.

Т а б л и ц а

Суммарное содержание ПХБ в ДО по станциям  
Рыбинского водохранилища, мкг/кг сухой массы

Станция	Коприно	Городок	Мякса	Любец	Торово	Ягорба
ПХБ, мкг/кг	43,73	369,78	79,03	275,01	201,76	2487,89

Одновременно со сбором дрейссены в 2008 г. и на тех же станциях Рыбинского водохранилища проводили отбор проб ДО [19]. Анализ данных по суммарному содержанию ПХБ в ДО показывает, что четкая зависимость между уровнем загрязнения ДО в точке отбора проб и удаленностью ее от места поступления ЗВ отсутствует (таблица).

Данных по биохимическим параметрам гемолимфы моллюсков и о влиянии на них внешних воздействий крайне мало. Среди гидробионтов несколько лучше изучены параметры крови рыб. Известно, что белки плазмы рыб выполняют множество физиологических функций, что делает этот показатель весьма важным при диагностике состояния организма. На содержание сывороточного белка сильно влияют условия обитания: концентрация его снижается при голодании, во время заболеваний [1], а также при хронических токсических воздействиях [8; 9]. Логично ожидать сходства свойств и функций гемолимфы моллюсков и плазмы крови рыб.

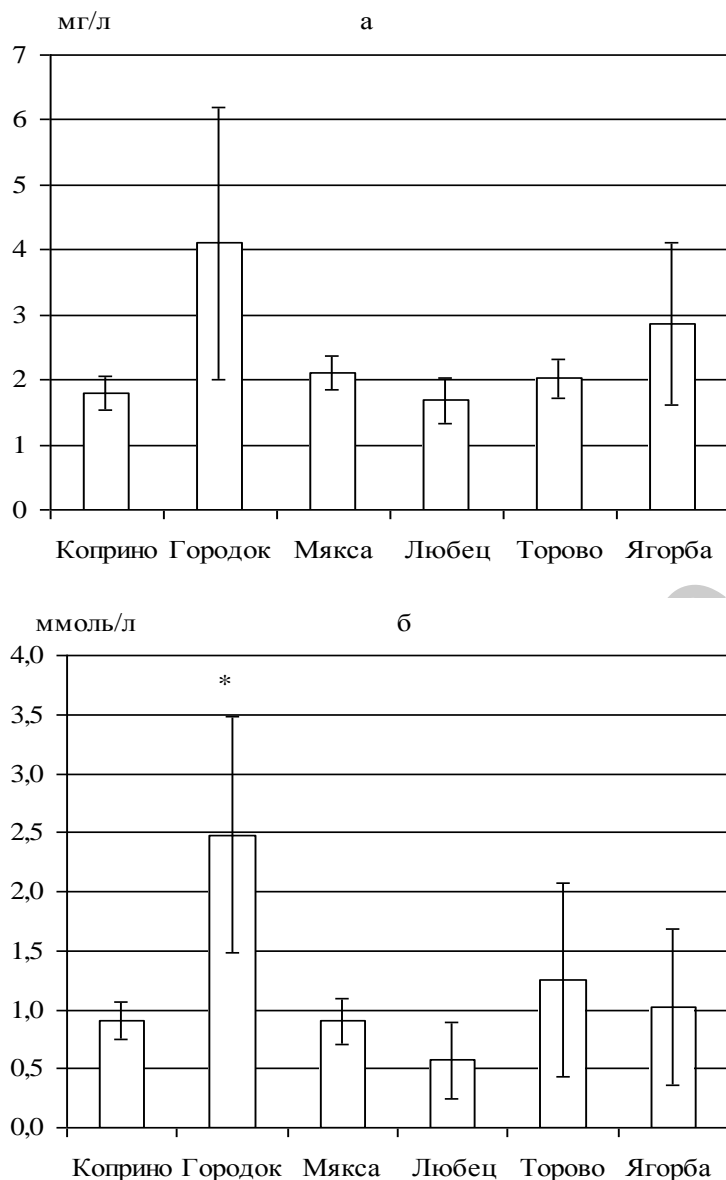
Как показали наши исследования, концентрация общего белка в гемолимфе дрейссены в различных участках водохранилища была разной. Наибольшие значения показателя обнаружены у моллюсков на ст. Городок, несколько меньшие на ст. Ягорба, в остальных точках отбора различия были незначительны (рис. 2а).

Несмотря на то, что выборка дрейссены со ст. Городок значительно превосходила остальные по содержанию общего белка в гемолимфе, это превышение оказалось статистически не значимым вследствие высокого диапазона индивидуальной изменчивости показателя. В Любце концентрация белка была минимальна.

Таким образом, на станциях с более высоким уровнем содержания ЗВ (Ягорба, Городок) выявлена и более высокая концентрация общего белка, хотя эта зависимость не носит линейного характера. Можно предположить, что повышение уровня белка в гемолимфе у моллюсков из загрязненных районов обусловлено активизацией синтеза защитных (антитоксических) соединений белковой природы. Следует отметить также и большой размах индивидуальных показателей в этих точках.

Известно, что у теплокровных животных острые стрессовые воздействия вызывают рост уровня гликемии, аналогичная реакция выявлена и для низших позвоночных (круглоротых и рыб). Также показано, что, в отличие от высших животных, рыбам свойственна большая амплитуда не только видовых, но и, особенно, индивидуальных вариаций уровня гликемии [13]. Снижение уровня гликемии является неблагоприятным признаком и указывает на истощение организма [15].

Наши данные свидетельствуют о том, что значительные колебания показателя свойственны и для дрейссены. В целом характер распределения значений концентрации глюкозы по станциям был сходен с таковым по белку, но на ст. Городок, несмотря на высокий размах индивидуальных значений, превышение показателя по сравнению с пробами со ст. Коприно, Мякса и Любец было статистически значимым (рис. 2б). На ст. Любец содержание глюкозы, как и белка, было минимальным.



Р и с. 2. Концентрация общего белка (а) и глюкозы (б) в гемолимфе дрейссены (а):

\* – статистически значимые различия относительно ст. Коприно, Мякса, Любец

Дать однозначное объяснение этому явлению затруднительно, т.к., с одной стороны, недостаточно сведений о влиянии стрессовых (в том числе токсических) воздействий на уровень гликемии моллюсков, с другой – не следует забывать, что глюкоза является основным энергетическим ресурсом организма. Вполне возможно, что рост показателя отражает развитие адаптивной реакции, направленной на компенсацию усиления энергозатрат организма в условиях повышенных

токсических нагрузок.

Таким образом, по содержанию белка и глюкозы в гемолимфе можно выделить 2 группы моллюсков: со ст. Любец и ст. Городок, с минимальным и максимальным уровнями показателей соответственно. Поскольку по содержанию ПХБ в ДО эти станции не имеют принципиальных различий, вполне вероятно влияние на данные параметры других, менее стойких в окружающей среде, соединений. Учитывая различную удаленность (28 и 106 км соответственно) этих пунктов от источника загрязнения (Череповецкий коммунально-промышленный комплекс), можно предположить, что в Любце преобладают ЗВ, поступающие непосредственно со стоками, в то время как на ст. Городок — продукты их трансформации.

По уровню концентрации лизоцима на всех пунктах отбора была выявлена высокая неоднородность внутри выборки, что не позволило установить достоверной разницы по этому показателю между станциями. В каждой точке некоторая часть моллюсков имела нулевые значения данного параметра. Для более детального анализа, помимо определения содержания фермента, было рассчитано отношение количества особей, у которых он отсутствовал, к общему числу исследованных по каждой станции.

Самая низкая концентрация лизоцима выявлена у моллюсков со ст. Мякса (рис. 3). Однако при этом доля особей, не обладающих лизоцимной активностью, была также невелика и составила всего 0.2. Самое высокое содержание фермента в гемолимфе и минимальная доля нулевых по этому признаку особей обнаружены на ст. Ягорба, что свидетельствует о максимальном уровне активности защитного фактора в данной выборке дрейссены. В остальных точках отбора отмечены сопряженные колебания этих двух показателей, т.е. на станциях с более высокой концентрацией фермента выявлена и более высокая доля нулевых особей, что в целом не позволяет делать заключения о заметных различиях в уровне активности лизоцима.

В отличие от специфической иммунореактивности высших позвоночных, адаптивные иммунные механизмы у беспозвоночных развиты слабо. Стратегия защиты основывается на реакциях врожденного иммунитета, и прежде всего гуморального, позволяющих организму немедленно ответить на внешнее воздействие. В сравнительно-эволюционном аспекте рыб можно рассматривать как промежуточное звено между беспозвоночными и высшими позвоночными животными в плане развития и становления функций иммунной системы. У рыб выявлены многие гуморальные факторы, неспецифически воздействующие на чужеродные агенты и встречающиеся как у эволюционно низших, так и у высших представителей животного мира. К ним, в первую очередь, можно отнести белки системы комплемента, гемолизины, С-реактивный белок

и другие белки и пептиды. Важным компонентом неспецифической гуморальной защиты животных практически всех систематических групп является лизоцим – фермент, гидролизующий гликозидные связи пептидогликана клеточной стенки бактерий [3]. Все эти соединения обеспечивают важнейшую составляющую врожденного иммунитета рыб — противомикробную активность сыворотки крови, за счет которой во многом поддерживается постоянство внутренней среды организма при воздействии различных биотических и абиотических факторов.

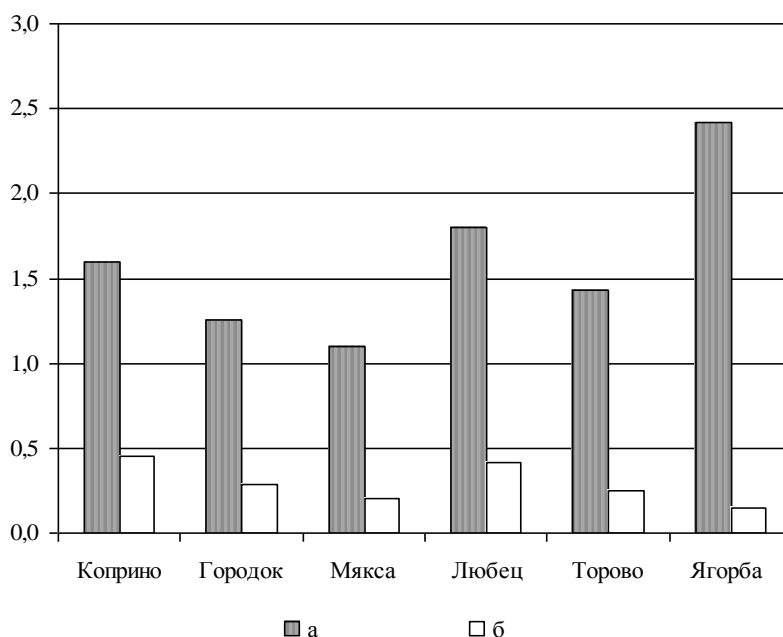


Рис. 3. Показатели лизоцимной активности гемолимфы дрейссены: а – концентрация фермента (мкг/мл); б – отношение числа особей, не обладающих лизоцимной активностью к общему числу в выборке (у.е.)

При исследовании данного показателя было показано, что рыбы, обитающие в условиях хронического поступления ксенобиотиков, имеют более высокий уровень противомикробной активности сыворотки крови, чем особи из менее загрязненных участков [2; 10; 16]. Сопоставляя эти данные с полученными нами на дрейссене, можно предположить сходство реакции гуморальных неспецифических защитных факторов на стрессовые, и в том числе токсические, воздействия, у рыб и моллюсков.

Река Ягорба протекает в черте г. Череповца и относится к одной из наиболее загрязненных точек отбора. При этом уровень лизоцимной активности дрейссены, отобранной в этой точке, выше, чем у моллюсков из других участков водохранилища. Это может свидетельствовать о том, что для дрейссены, как и для рыб, характерна



более активная выработка защитных агентов у особей, обитающих в зоне хронического поступления ЗВ, по сравнению с моллюсками из менее загрязненных районов. Можно также заключить, что этот эффект в значительной степени обусловлен ПХБ, содержание которых в ДО р. Ягорбы на порядок выше, чем на других станциях (табл. 1).

Полученные данные в целом согласуются с заключением других авторов, что обнаруженные уровни содержания ПХБ как в леще, так и бентосных беспозвоночных вблизи г. Череповца не являются летальными для них, хотя могут вызывать сдвиги в нормальном функционировании некоторых жизненно важных систем организма [23].

Следует также учитывать зависимость степени накопления ЗВ, что показано в частности для ПХБ, от гранулометрического состава ДО [17]. Этот фактор может обуславливать некоторое нивелирование различий в показателях у дрейссены, отобранной из разных плесов водохранилища.

**Заключение.** Таким образом, несмотря на высокую устойчивость дрейссены к внешним воздействиям, обитание в условиях хронического химического загрязнения окружающей среды вызывает сдвиги основных физиологических показателей. Как и у рыб, для моллюсков выявлен рост индивидуальной изменчивости исследованных показателей в зонах с более высоким уровнем загрязнения. Для выяснения причины выявленных различий между выборками дрейссены, полученными из разных плесов водохранилища, требуются дополнительные исследования химического состава ДО в этих пунктах, а также процессов трансформации основных групп поступающих ксенобиотиков.

Сравнительный анализ уровня лизоцимной активности позволяет предположить сходство реагирования факторов гуморальной неспецифической защиты у рыб и моллюсков на хроническое токсическое воздействие, которое приводит к их активизации.

### **Список литературы**

1. *Аmineва В.А., Яржомбек А.А.* Физиология рыб. М.: Легкая промышленность, 1984. 200 с.
2. *Валедская О.М.* Результаты изучения иммунного статуса рыб дельты Волги и рекомендации по их использованию // Проблемы иммунологии, патологии и охраны здоровья рыб: расширенные материалы. Всерос. науч.-практ. конф. М., 2004. С. 62-72.
3. *Галактионов В.Г.* Эволюционная иммунология. М.: ИКЦ Академкнига, 2005. 408 с.
4. *Герман А. В., Законнов В. В., Мамонтов А. А.* Хлорорганические соединения в донных отложениях, бентосе и рыбе Волжского плеса

- Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 1. С. 84–88.
5. Дрейссена *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae). Систематика, экология, практическое значение. М.: Наука, 1994. 240 с.
  6. Козловская В.И., Герман А.В. Полихлорированные бифенилы и полиароматические углеводороды в экосистеме Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. 1997. Т. 24, № 5. С. 563–569.
  7. Колпакова Е.Н., Лулоф И., Руттемаан Й. Отчет об исследованиях, проведенных в г.Череповце в августе 1995 г. // Проект «Волга в Череповце». Н. Новгород: Изд. Экоцентр «Дронт», 1996. 23 с.
  8. Курбанова И.К., Габибов М.М., Бекшокова П.А. Содержание общего белка в теле молоди кутума и бычка-кругляка при хроническом нефтяном загрязнении водной среды // Рыбохозяйственная наука на Каспии: задачи и перспективы: материалы Междунар. конф. Астрахань, 2003. С. 101–103.
  9. Лапирова Т.Б., Микряков В.Р. Влияние некоторых стресс-факторов на функциональное состояние гуморального звена неспецифического иммунитета молоди карпа // Вопросы рыболовства. 2005. Т. 6, № 4 (24). С. 771–780.
  10. Лапирова Т.Б., Заботкина Е.А. Сравнительный анализ показателей иммунофизиологического состояния лещей из различных по степени загрязнения участков Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. 2010. № 2. С. 86–92.
  11. Ларин А.А. Влияние нефтяного загрязнения на биохимические показатели *Mytilus galloprovincialis* // Ихтиологические исследования на внутренних водоемах: материалы Междунар. науч. конф. Саранск, 2007. С. 10–101.
  12. Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В., Кленкин А.А., Корпакова И.Г. Загрязнение Азовского моря полиароматическими углеводородами // Вопросы рыболовства. 2008. Т. 9, № 4 (36). С. 861–869.
  13. Плисецкая Э. М. Гормональная регуляция углеводного обмена у низших позвоночных. Л.: Наука, 1975. 214 с.
  14. Практикум по иммунологии / ред. И.А. Кондратьева, В.Д. Самуилов. М.: МГУ, 2002. 224 с.
  15. Смит Л.С. Введение в физиологию рыб. М.: Агропромиздат, 1986. 168 с.
  16. Чуйко Г.М., Заботкина Е.А., Лапирова Т.Б., и др. Морфофункциональные особенности леща (*Abramis brama* L.) из локальной популяции в условиях экологической изоляции // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы III Всероссийской научной конференции. Йошкар-Ола; Пущино, 2008. С. 457–458.
  17. Чуйко Г.М., Законнов В.В., Герман А.В., Бродский Е.С., Шелепчиков

- А.А., Фешин Д.Б., Тиллитт Д.Э. Распределение полихлорированных бифенилов в экосистеме Рыбинского водохранилища при их локальном поступлении // Современное состояние водных биоресурсов: материалы. конф. Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. С. 680–684.
18. Чуйко Г.М., Законнов В.В., Морозов А.А., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б. Пространственное распределение и качественный состав полихлорированных бифенилов (ПХБ) и хлорорганических пестицидов (ХОП) в донных отложениях и леще (*Abramis brama* L.) из Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. 2010. № 2. С. 98–108.
19. Чуйко Г.М., Юрченко В.В., Бродский Е.С. Пространственное распределение стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ) в экосистеме Рыбинского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. IV: Водная экология: тр. Междунар. науч-практ. конф. Пермь, 2011. С. 130–135.
20. Яблонская Е.А. Питание донных беспозвоночных и трофическая структура бентоса морей Каспийского, Азовского и Аральского. М.: Наука, 1971. 146 с.
21. Bioavailability: physical, chemical, and biological interactions / ed. J.L. Hamelink. Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokio: Lewis Publisher, 1994. 239 p.
22. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principal of protein-dye binding // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248-254.
23. Chuiko G.M., Tillitt D.E., Zajicek J.L., Flerov B.A., et al. Chemical contamination of the Rybinsk Reservoir, Northwest Russia: relationship between liver polychlorinated biphenyls (PCB) content and health indicators in bream (*Abramis brama*) // Chemosphere. 2007. Vol. 67, № 3. P. 527–536.
24. Minier C., Jaouen-Madoulet A., Le Guellec A-M., Tutundjian R., Bocquene G, Leboulenger F. A pollution-monitoring pilot study involving contaminant and biomarker measurements in the Seine Estuary, France, using zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) // Environ. Toxicol. and Chem. 2006. Vol. 25, № 1. P. 112–119.

**SOME IMMUNOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF  
*DREISSENA POLYMORPHA* FROM DIFFERENT PARTS  
OF THE RYBINSK RESERVOIR SUBJECTED  
TO VARIOUS DEGREES OF ANTHROPOGENIC IMPACTS**

**T.B. Lapirova, G.M. Chuico, E.G. Pryanichnikova**

Papanin Institute of the Biology of Inland Waters RAS, Borok

Several immunophysiological parameters in hemolymph of freshwater mollusk *Dreissena polymorpha* (Pall.) from the Rybinsk Reservoir are determined and analyzed in the paper. It is shown hemolymph protein and glucose contents in mollusks sampled in areas with different contents of anthropogenic pollutants in bottom sediments are various. In addition, maximal level of lysozyme activity is reported in mollusks sampled in area located near the place of municipal and industrial waste discharges of Cherepovets City. It is also shown the bottom sediments from this place have highest polychlorinated biphenyl content.

**Keywords:** *the Rybinsk Reservoir, polluting substances, zebra mussels, a haemolymph, the total protein, glucose, lysozyme activity.*

*Об авторах:*

ЛАПИРОВА Татьяна Борисовна—кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и токсикологии водных животных, ФГБУ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-он, п. Борок, e-mail: ltb@ibiw.yaroslavl.ru

ЧУЙКО Григорий Михайлович—доктор биологических наук, заведующий лабораторией физиологии и токсикологии водных животных, ФГБУ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-он, п. Борок. e-mail: gko@ibiw.yaroslavl.ru

ПРЯНИЧНИКОВА Екатерина Геннадьевна—младший научный сотрудник лаборатории экологии водных беспозвоночных, ФГБУ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-он, п. Борок e-mail: pryanik@ibiw.yaroslavl.ru