



# БІАЛОГІЯ

УДК 594.38:577.115.4

## Сравнение влияния гипертермии на перекисное окисление липидов в гепатопанкреасе легочных моллюсков

Е.О. Данченко, А.М. Иванова, Т.А. Толкачева

Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»

Легочные пресноводные моллюски – большой прудовик (*Lymnaea stagnalis*) и катушка роговая (*Planorbis corneus*) с разными переносчиками кислорода (медь-содержащий гемоцианин и железо-содержащий гемоглобин) представляют собой тест-организмы для фармакодинамических и биоэкологических исследований.

Цель работы – сравнительный анализ показателей перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы в гепатопанкреасе двух видов пресноводных легочных моллюсков при воздействии высокой температуры и при сочетанном влиянии гипертермии и солей тяжелых металлов.

**Материал и методы.** Эксперимент проведен на пресноводных легочных моллюсках двух видов с различным транспортом кислорода. Для создания условий гипертермии особи выдерживались 10 часов в термостате при температуре 35°C. Для оценки сочетанного действия солей тяжелых металлов и гипертермии моллюски, находящиеся в растворе соли, помещались в термостат на 10 ч при температуре 35°C в растворы сульфата меди в концентрациях 0,01 мг/л, 0,1 мг/л и 1 мг/л и сульфата железа в концентрациях 0,3 мг/л, 3 мг/л, 5 мг/л. В гемолимфе и гомогенате гепатопанкреаса определяли ТБК-активные продукты, содержание мочевины и активность каталазы.

**Результаты и их обсуждение.** Повышенная температура окружающей среды вызывает активацию перекисного окисления липидов в гепатопанкреасе легочных моллюсков независимо от механизма транспорта кислорода. Сочетанное действие гипертермии и сульфата железа характеризуется однотипными изменениями в содержании ТБК-активных продуктов в гепатопанкреасе обоих представителей брюхоногих пресноводных легочных моллюсков. Влияние сульфата меди на содержание ТБК-активных продуктов зависит от дозы токсиканта и вида легочных моллюсков. Изменение активности каталазы при сочетании гипертермии и солей тяжелых металлов наиболее выражено в гепатопанкреасе *L. stagnalis*. Сочетанное воздействие гипертермии и сульфата меди в концентрации 0,1 мг/л и 1 мг/л вызывает резкое снижение уровня мочевины в гемолимфе *P. corneus*.

**Заключение.** Гипертермия приводит к увеличению содержания ТБК-активных продуктов, накоплению мочевины и увеличению активности каталазы у двух видов брюхоногих пресноводных легочных моллюсков, а добавление солей тяжелых металлов усиливает эти эффекты. Наиболее устойчивым из изученных видов является катушка роговая.

**Ключевые слова:** перекисное окисление липидов, каталаза, ТБК-активные продукты, гипертермия, соли тяжелых металлов.

# Comparison of the Influence of Hyperthermia on Peroxidation of Lipids in Hepatopancreas of Pulmonary Mollusks

E.O. Danchenko, A.M. Ivanova, T.A. Tolkacheva

Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

*Pulmonary freshwater mollusks – the large pond snake (*Lymnaea stagnalis*) and corn horn (*Planorbarius corneus*) with different oxygen carriers (copper-containing hemocyanin and iron-containing hemoglobin) are test organisms for pharmacodynamic and bioecological studies.*

*The aim of the study is a comparative analysis of lipid peroxidation and antioxidant system parameters in hepatopancreas of two species of freshwater lung mollusks under the influence of high temperature, as well as combined effect of hyperthermia and heavy metal salts.*

**Material and methods.** *The experiment was carried out on freshwater pulmonary mollusks of two species with different oxygen transport. To create the conditions for hyperthermia, the individuals were kept for 10 hours in a thermostat at a temperature of 35°C. To assess the combined effects of heavy metal salts and hyperthermia, mollusks in a salt solution were placed in a thermostat for 10 hours at 35°C in solutions of copper sulfate in concentrations of 0,01 mg/L, 0,1 mg/L and 1 mg/L and ferrous sulphate in concentrations 0,3 mg/L, 3 mg/L, 5 mg/L. In the hemolymph and homogenate of hepatopancreas, TBA-active products, catalase activity and urea content were determined.*

**Findings and their discussion.** *The increased ambient temperature causes the activation of lipid peroxidation in hepatopancreas of pulmonary freshwater mollusks regardless of the mechanism of oxygen transport. The combined effect of hyperthermia and ferrous sulfate is characterized by the same type of changes in the content of TBA-active products in the hepatopancreas of both representatives of gastropods of freshwater pulmonary mollusks. The effect of copper sulfate on the content of TBA-active products depends on the dose of the toxicant and the type of pulmonary mollusks. The change in catalase activity in the combination of hyperthermia and heavy metal salts is most pronounced in hepatopancreas *L. stagnalis*. The combined effect of hyperthermia and copper sulphate at a concentration of 0,1 mg/L and 1 mg/L causes a sharp decrease in the level of urea in the hemolymph of *P. corneus*.*

**Conclusion.** *Hyperthermia leads to an increase in the content of TBA-active products, an increase in catalase activity and urea accumulation in two species of gastropods of freshwater pulmonary mollusks, and the addition of heavy metal salts enhances these effects. The most stable of the species studied is the horn reel.*

**Key words:** *lipid peroxidation, catalase, TBA-active products, hyperthermia, salts of heavy metals.*

Состояние пресноводных экосистем оценивается через применение многих компонентов макрозообентоза, в том числе брюхоногих моллюсков. Высокая плотность природных популяций, особенности образа жизни (относительно низкая подвижность, питание преимущественно осадочным детритом и перифитоном) и простота сбора особей позволяют использовать брюхоногих моллюсков в практике как пассивного, так и активного биомониторинга [1; 2]. Легочные пресноводные моллюски большой прудовик (*Lymnaea stagnalis*) и катушка роговая (*Planorbarius corneus*) с разными переносчиками кислорода (медь-содержащий гемоцианин и железо-содержащий гемоглобин) представляют собой тест-организмы для фармакодинамических и биоэкологических исследований. С их применением возможно изучить химические компоненты среды обитания, а также структурно-молекулярные показатели использования энергии гладкими мышцами при локомоции и образовании энергии при катаболизме полимерных молекул в печени под влиянием химических факторов среды обитания и вводимых биорегуляторов. Наиболее часто эти животные используются для экологического тестирования загрязнений природных и искусственных водоемов, действия различных физических (температура, ионизирующее излучение, ультрафиолетовое излучение и др.), химических (свободно-радикальные процессы) и биологических (бактериальные инфекции, паразитирование личинок трематод) факторов [3; 4].

Анализ данных литературы показывает наличие достаточного количества исследований по изучению воздействий химических факторов окружающей среды на легочных моллюсков (тяжелые металлы, детергенты), основное внимание при этом сосредоточено на оценке выживаемости, роста, поведенческих реакций и физиологического состояния легочных моллюсков [5; 6].

Температура окружающей среды – один из ведущих абиотических факторов, воздействующих на обитателей пресных стоячих водоемов. Аномальное повышение температуры водной среды в летний период оказывает влияние на изменение величин первичной продукции, а в сочетании с рядом факторов (снижение солено-

сти, слабая проточность) может вызывать повышение трофности акваторий даже при отсутствии поступления биогенных элементов. Изменение основных гидрохимических характеристик воды также сказывается на состоянии гидробионтов, при этом температура и соленость являются основными лимитирующими факторами для их роста и развития. Повышение температуры изменяет количество кислорода в водной среде, что сказывается на процессах свободно-радикального окисления [7].

Воздействие меди на развитие, размножение и выживаемость моллюсков изучено достаточно полно [8; 9]. Известно, что  $\text{Cu}^{2+}$  входит в состав сложного белка гемоцианина, а  $\text{Fe}^{2+}$  – в состав гемоглобина, которые осуществляют транспорт кислорода из легкого к тканям и углекислого газа – в обратном направлении. С другой стороны, металлы с переменной валентностью, в том числе  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ , являются инициаторами процессов свободно-радикального окисления. Однако недостаточно исследованы биохимические процессы в организме легочных моллюсков при действии высокой температуры, а также отсутствуют данные по сочетанному влиянию гипертермии и солей тяжелых металлов. Показатели перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантные биохимические параметры, по мнению многих ученых, являются важными маркерами воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды [10; 11].

Цель работы – сравнительный анализ показателей перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы в гепатопанкреасе пресноводных легочных моллюсков (*L. stagnalis* и *P. corneus*), отличающихся по механизму транспорта кислорода, при воздействии высокой температуры и сочетанном воздействии гипертермии и солей тяжелых металлов.

**Материал и методы.** При этом использовались два представителя легочных моллюсков – большой прудовик (*Lymnaea stagnalis*) и катушка роговая (*Planorbis corneus*). Моллюсков собрали вручную, затем подвергли 15-суточной акклиматизации: объем аквариумов 100 л, плотность посадки 3 экземпляра на литр, температура воды – 20–22°C, pH 7,2–7,7. Ежедневно осуществлялась замена 1/3 воды. Животных кормили свежими листьями одуванчика или зеленого салата.

Для создания условий гипертермии особи выдерживались 10 часов в термостате при температуре 35°C. Контролем служили особи, содержащиеся в отстоянной водопроводной воде при комнатной температуре. Для оценки сочетанного действия солей тяжелых металлов и гипертермии моллюски, находящиеся в растворе соли, помещались в термостат на 10 ч при температуре 35°C.

В качестве токсикантов использованы сульфат меди в концентрациях 0,01 мг/л, 0,1 мг/л и 1 мг/л и сульфат железа в концентрациях 0,3 мг/л, 3 мг/л, 5 мг/л. Об уровнях ПОЛ судили по накоплению ТБК-активных продуктов, количество которых определяли по Uchiyama [12]. При этом для расчета использовали молярный коэффициент поглощения  $\epsilon = 1,56 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  и результат выражали в мкмоль на 1 г сырой ткани. Активность каталазы (1.11.1.6) устанавливали по реакции с молибдатом аммония [13]. Концентрацию мочевины в гемолимфе выявляли с помощью стандартных биохимических наборов.

Спектрофотометрические измерения проводили на спектрофлуориметре «SOLAR» в кварцевых кюветках (1 см). Статистическую обработку осуществляли, используя t-критерий Стьюдента. Результаты в табл. 1–6 представлены в виде  $M \pm m$ .

**Результаты и их обсуждение.** Все живые организмы разными способами реагируют на изменения окружающей среды. Формирование защитных эффектов адаптации обеспечивается активацией генетического аппарата, изменением метаболизма клетки и функционирования практически всех основных систем организма. Любые сильные воздействия окружающей среды вызывают стандартную стресс-реакцию. При кратковременном действии стрессов умеренной интенсивности происходят усиление функционирования органов и мобилизация организма. Однако при интенсивной и длительной стресс-реакции в клетках возникают активация процесса свободно-радикального окисления, внутриклеточная кальциевая перегрузка, угнетение энергопродукции, снижение синтеза белка и денатурация белковых структур. Это оказывает повреждающее воздействие на органы и ткани, и, таким образом, стресс-реакция из звена адаптации превращается в звено патогенеза. Активации систем стресса и реализации повреждающих эффектов препятствуют стресс-лимитирующие системы.

Воздействие температуры в течение 10 ч привело к статистически значимому увеличению содержания ТБК-активных продуктов в гепатопанкреасе обоих видов легочных моллюсков в одинаковой степени (в 1,5 раза) (табл. 1). При добавлении в среду сульфата железа в концентрациях 0,3 мг/л, 3 мг/л и 5 мг/л содержание ТБК-активных продуктов в гепатопанкреасе катушки роговой увеличилось в 2,2, 3 и 3,2 раза по сравнению с контролем и на 28%, 74% и 90% по сравнению с содержанием у моллюсков, подвергнутых воздействию только температуры. Аналогичные изменения выявлены в гепатопанкреасе большого прудовика (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние температуры и сульфата железа на содержание ТБК-активных продуктов (нмоль·г<sup>-1</sup>) в гепатопанкреасе легочных моллюсков *L. stagnalis* (n=10) и *P. corneus* (n=9) (M±m)**

Группы	<i>Planorbarius corneus</i>	<i>Lymnaea stagnalis</i>
Контроль	3,03±0,25	3,35±0,18
t 35°C	5,15±0,59 p <sub>1</sub> <0,05	5,06±0,29 p <sub>1</sub> <0,05
t 35°C + FeSO <sub>4</sub> , 0,3 мг/л	6,64±0,59 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	5,98±0,36 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> >0,05
t 35°C + FeSO <sub>4</sub> 3 мг/л	8,98±1,06 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	6,81±0,41 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05
t 35°C + FeSO <sub>4</sub> , 5 мг/л	9,80±0,40 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	9,06±1,04 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05

**Примечание:** здесь и далее p<sub>1</sub> – по сравнению с контролем; p<sub>2</sub> – по сравнению с группой «t 35°C».

При концентрациях сульфата меди 0,1 мг/л и 1 мг/л уровень ТБК-активных продуктов в гепатопанкреасе *P. corneus* увеличился как по сравнению с контролем, так и по сравнению с группой, подвергшейся изолированной гипертермии (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние температуры и сульфата меди на содержание ТБК-активных продуктов (нмоль·г<sup>-1</sup>) в гепатопанкреасе легочных моллюсков *L. stagnalis* (n=10) и *P. corneus* (n=9) (M±m)**

Группы	<i>Planorbarius corneus</i>	<i>Lymnaea stagnalis</i>
Контроль	4,07±0,31	3,35±0,17
t 35°C	5,90±0,31 p <sub>1</sub> <0,05	5,03±0,53 p <sub>1</sub> <0,05
t 35°C + CuSO <sub>4</sub> , 0,01 мг/л	4,35±0,56 p <sub>1</sub> >0,05 p <sub>2</sub> <0,05	3,03±0,27 p <sub>1</sub> >0,05 p <sub>2</sub> <0,05
t 35°C + CuSO <sub>4</sub> , 0,1 мг/л	7,35±0,51 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	3,54±0,42 p <sub>1</sub> >0,05 p <sub>2</sub> <0,05
t 35°C + CuSO <sub>4</sub> , 1 мг/л	7,60±0,61 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	4,94±0,64 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> >0,05

У прудовиков выявлен несколько иной характер изменений содержания ТБК-активных продуктов: при концентрациях сульфата меди 0,01 мг/л и 0,1 мг/л в условиях гипертермии количество ТБК-активных продуктов сохранялось на уровне контрольных значений, а при концентрации 1 мг/л – увеличивалось по сравнению с контрольной группой, но не отличалось от группы моллюсков, находящихся в условиях повышенной температуры.

Активация процесса перекисного окисления липидов при воздействии повышенной температуры среды сопровождалась изменением активности каталазы (табл. 3). В гепатопанкреасе прудовиков активность каталазы статистически значимо увеличивалась на 66% по сравнению с контролем, а у катушек не отличалась от контроля. Добавление сульфата меди в среду обитания большого прудовика при гипертермии вызвало еще большую активацию каталазы: при концентрации сульфата меди 0,01 мг/л активность каталазы увеличилась на 31%, при концентрации 0,1 мг/л – на 62%, 1 мг/л – на 77%. В меньшей степени изменилась активность каталазы в гепатопанкреасе катушки роговой. Статистически значимое увеличение активности фермента выявлено лишь при высокой концентрации сульфата меди (1 мг/л) на 43% по сравнению с группой, подвергнутой изолирован-

ному воздействию высокой температуры (табл. 3). Возможно, в данной ситуации наблюдалось изменение активности других антиоксидантных ферментов, например, СОД.

Таблица 3

**Влияние температуры и сульфата меди на активность каталазы (мкмоль·мин<sup>-1</sup>·г<sup>-1</sup>) в гепатопанкреасе легочных моллюсков *L. stagnalis* (n=10) и *P. corneus* (n=9) (M±m)**

Группы	<i>Lymnaea stagnalis</i>	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль	6,95±0,77	19,6±2,56
t 35°C	11,57±1,76 p <sub>1</sub> <0,05	19,81±1,91 p <sub>1</sub> >0,05
t 35°C + CuSO <sub>4</sub> , 0,01 мг/л	15,22±3,24 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	19,13±2,02 p <sub>1</sub> >0,05 p <sub>2</sub> >0,05
t 35°C + CuSO <sub>4</sub> , 0,1 мг/л	18,85±3,75 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	16,97±1,46 p <sub>1</sub> >0,05 p <sub>2</sub> >0,05
t 35°C + CuSO <sub>4</sub> , 1 мг/л	20,49±2,93 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	28,44±1,59 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05

При исследовании совместного действия повышенной температуры и сульфата железа(II) на *L. stagnalis* отмечено статистически значимое увеличение активности каталазы во всех экспериментальных группах: при концентрациях сульфата железа(II) 0,3 мг/л, 3 мг/л, 5 мг/л активность каталазы увеличилась в 2, 2,5 раза и 2,8 раза, соответственно (табл. 4). Как и в случае с сульфатом меди, низкая концентрация сульфата железа не изменила активность каталазы в гепатопанкреасе *P. corneus*. Увеличение концентрации сульфата железа(II) до 3 мг/л и 5 мг/л способствовало повышению активности каталазы в 1,5 и 2,5 раза, соответственно, по сравнению с воздействием гипертермии (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние температуры и сульфата железа на активность каталазы (мкмоль·мин<sup>-1</sup>·г<sup>-1</sup>) в гепатопанкреасе легочных моллюсков *L. stagnalis* (n=10) и *P. corneus* (n=9) (M±m)**

Группы	<i>Lymnaea stagnalis</i>	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль	8,35±1,59	21,4±2,79
t 35°C	13,12±1,41 p <sub>1</sub> <0,05	18,61±1,82 p <sub>1</sub> >0,05
t 35°C + FeSO <sub>4</sub> , 0,3 мг/л	16,9±4,06 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> >0,05	23,2±3,93 p <sub>1</sub> >0,05 p <sub>2</sub> >0,05
t 35°C + FeSO <sub>4</sub> , 3 мг/л	20,9±2,47 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	33,5±3,76 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05
t 35°C + FeSO <sub>4</sub> , 5 мг/л	23,4±3,22 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	52,6±5,15 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05

Данные, представленные в табл. 5, показывают, что гипертермия вызывает статистически значимое увеличение содержания мочевины в гемолимфе *L. stagnalis* в 2,3 раза, *P. corneus* – в 1,7 раза (табл. 5). Это может свидетельствовать об активации процессов катаболизма белков при окислительном стрессе. Мочевина является не только конечным продуктом распада белков, но и низкомолекулярным антиоксидантом, способным вступать в обменные реакции с активными формами кислорода и ингибировать ПОЛ. Значение высокой концентрации мочевины в тканях особенно велико в условиях окислительного стресса, поскольку пул антиоксидантных ферментов быстро истощается и необходимо значительное время для их синтеза.

В условиях повышенной температуры добавление сульфата железа(II) сохраняло повышенный уровень мочевины в гемолимфе *L. stagnalis*, но не потенцировало эффект гипертермии. При концентрации сульфата железа 0,3 мг/л в гемолимфе *P. corneus* отмечалось снижение содержания мочевины по сравнению с гипертермией; при увеличении концентрации до 3 мг/л – увеличение по сравнению с контролем и неизменный уровень по сравнению с гипертермией; при концентрации 5 мг/л из-за большого разброса данных не выявлялось различий с обеими группами сравнения.

Таблица 5

**Влияние температуры и сульфата железа на содержание мочевины (ммоль/л) в гемолимфе легочных моллюсков *L. stagnalis* (n=10) и *P. corneus* (n=9) (M±m)**

Группы	<i>Lymnaea stagnalis</i>	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль	2,30±0,34	4,67±0,62
t 35°C	5,34±0,65 p <sub>1</sub> <0,05	8,26±0,72 p <sub>1</sub> <0,05
t 35°C + FeSO <sub>4</sub> , 0,3 мг/л	4,37±0,62 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> >0,05	5,56±0,40 p <sub>1</sub> >0,05 p <sub>2</sub> <0,05
t 35°C + FeSO <sub>4</sub> , 3 мг/л	4,59±0,30 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> >0,05	9,96±0,46 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> >0,05
t 35°C + FeSO <sub>4</sub> , 5 мг/л	4,28±0,38 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> >0,05	7,05±1,92 p <sub>1</sub> >0,05 p <sub>2</sub> >0,05

При концентрации сульфата меди 0,01 мг/л и гипертермии в гемолимфе большого прудовика уровень мочевины превышал контрольные значения в 3,7 раза (табл. 6). Однако при дальнейшем повышении концентрации сульфата меди уровень мочевины снизился по сравнению с гипертермией, что может быть связано с повышением активности каталазы и торможением свободно-радикальных процессов в организме моллюсков. В гемолимфе катушек при низкой концентрации сульфата меди (0,01 мг/л) сохранялся высокий уровень мочевины. Тем не менее при увеличении концентрации сульфата меди наблюдалось резкое снижение уровня мочевины как по отношению к контрольной группе, так и по сравнению с гипертермией. Такие изменения могут быть связаны с нарушением синтеза мочевины в гепатопанкреасе вследствие нарушения метаболизма.

Таблица 6

**Влияние температуры и сульфата меди на содержание мочевины (ммоль/л) в гемолимфе легочных моллюсков *L. stagnalis* (n=10) и *P. corneus* (n=9) (M±m)**

Группы	<i>Lymnaea stagnalis</i>	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль	2,30±0,34	1,92±0,44
t 35°C	11,9±0,75 p <sub>1</sub> <0,05	9,87±3,20 p <sub>1</sub> <0,05
t 35°C + CuSO <sub>4</sub> , 0,01 мг/л	8,55±0,86 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	9,98±1,15 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> >0,05
t 35°C + CuSO <sub>4</sub> , 0,1 мг/л	3,70±0,27 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	0,76±0,12 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05
t 35°C + CuSO <sub>4</sub> , 1 мг/л	4,89±0,43 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05	0,49±0,04 p <sub>1</sub> <0,05 p <sub>2</sub> <0,05

**Заключение.** Повышенная температура окружающей среды вызывает активацию перекисного окисления липидов в гепатопанкреасе легочных моллюсков независимо от механизма транспорта кислорода. Сочетанное

действие гипертермии и сульфата железа характеризуется однотипными изменениями в содержании ТБК-активных продуктов в гепатопанкреасе обоих представителей брюхоногих пресноводных легочных моллюсков. Влияние сульфата меди на содержание ТБК-активных продуктов зависит от дозы токсиканта и вида легочных моллюсков. Изменение активности каталазы при сочетании гипертермии и солей тяжелых металлов наиболее выражено в гепатопанкреасе *L. stagnalis*. Сочетанное воздействие гипертермии и сульфата меди в концентрации 0,1 мг/л и 1 мг/л вызывает резкое снижение уровня мочевины в гемолимфе *P. corneus*.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Брень, Н.В. Биологический мониторинг и общие закономерности накопления тяжелых металлов пресноводными донными беспозвоночными загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами / Н.В. Брень // Гидробиол. журнал. – 2008. – Т. 44, № 2. – С. 96–115.
2. Molluscs in biological monitoring of water quality / J. Salanki [et al.] // Toxicol. Lett. – 2003. – Vol. 140–141. – P. 403–410.
3. Mechanisms of waterborne Cu toxicity to the pond snail *Lymnaea stagnalis*: physiology and Cu bioavailability / T.Y. Ng Tania [et al.] // Ecotoxicol. Environ. Saf. – 2011. – Vol. 74. – P. 1471–1479.
4. Oxidative-stress induced increase in circulating fatty acids does not contribute to phospholipase A2-dependent appetitive long-term memory failure in the pond snail *Lymnaea stagnalis* / E. Beaulieu [et al.] // BMC neuroscience. – 2014. – Vol. 56. – P. 1471–1482.
5. Стадниченко, А.П. Влияние сернокислого железа на быстрые поведенческие и физиологические реакции катушки роговой / А.П. Стадниченко // Гидробиол. журнал. – 2014. – Т. 50, № 4. – С. 45–50.
6. Шевцова, С.Н. Влияние сульфата меди на рост, выживаемость и уровень экспрессии металлотионеинов у пресноводного моллюска *Lymnaea stagnalis* / С.Н. Шевцова, А.С. Бабенко, С.Е. Дромашко // Труды БГУ. – 2011. – Т. 6. – С. 152–162.
7. Oxidative stress in vertebrates and invertebrates: molecular aspects of cell signaling / Ed. T. Farooqui, A.A. Farooqui. – Wiley Blackwell: New Jersey. – 2012. – 385 p.
8. Ярославцева, Л.М. Влияние ионов меди на ранние стадии развития тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus* (*Bivalvia*) / Л.М. Ярославцева, Э.П. Сергеева // Биология моря. – 2005. – Т. 31, № 4. – С. 267–273.
9. Шевцова, С.Н. Влияние сульфата меди на эмбриональное развитие большого прудовика (*Lymnaea stagnalis*) / С.Н. Шевцова, В.Ю. Афонин, С.Е. Дромашко // Весті НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2011. – № 3. – С. 34–40.
10. Гостюхина, О.Л. Особенности системы антиоксидантной защиты черноморских моллюсков *Mytilus galloprovincialis* LAM и *Anadara inaequalis* BR / О.Л. Гостюхина, И.В. Головина // Укр. біохім. журн. – 2012. – Т. 84, № 3. – С. 31–36.
11. Antioxidant responses to variations in dissolved oxygen of *Scapharca inaequalis* and *Tapes philippinarum*, two bivalve species from the lagoon of Venice / P. Irato [et al.] // Mar. Pollut. Bull. – 2007. – Vol. 54. – P. 1020–1030.
12. Uchiyama, M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test / M. Uchiyama, M. Mihara // Analit. Biochem. – 1987. – Vol. 86. – P. 271–278.
13. Королюк, М.А. Метод определения активности каталазы / М.А. Королюк // Лабораторное дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.

## REFERENCES

1. Bren N.V. *Gidrobiol. zhurnal* [Hydrobiological Journal], 2008, 44(2), pp. 96–115.
2. Molluscs in biological monitoring of water quality / J. Salanki [et al.] // Toxicol. Lett. – 2003. – Vol. 140–141. – P. 403–410.
3. Mechanisms of waterborne Cu toxicity to the pond snail *Lymnaea stagnalis*: physiology and Cu bioavailability / T.Y. Ng Tania [et al.] // Ecotoxicol. Environ. Saf. – 2011. – Vol. 74. – P. 1471–1479.
4. Oxidative-stress induced increase in circulating fatty acids does not contribute to phospholipase A2-dependent appetitive long-term memory failure in the pond snail *Lymnaea stagnalis* / E. Beaulieu [et al.] // BMC neuroscience. – 2014. – Vol. 56. – P. 1471–1482.
5. Stadnichenko A.P. *Gidrobiol. zhurnal* [Hydrobiological Journal], 2014, 50(4), pp. 45–50.
6. Shevtsova S.N., Babenko A.S., Dromashko S.E. *Trudi BGU* [Works of Belarusian State University], 2011, 6, pp. 152–162.
7. Oxidative stress in vertebrates and invertebrates: molecular aspects of cell signaling / Ed. T. Farooqui, A.A. Farooqui. – Wiley Blackwell: New Jersey. – 2012. – 385 p.
8. Yaroslavtseva L.M., Sergeyeva E.P. *Biologiya moria* [Marine Biology], 2005, 31(4), pp. 267–273.
9. Shevtsova S.N., V.Yu. Afonin, S.E. Dromashko *Vesti NAN Belarusi. Ser. biyal. navuk* [Journal of NASc of Belarus. Biological Sciences], 2011, 3, pp. 34–40.
10. Gostyukhinna O.L., Golovina I.V. *Ukr. biokhim. zhurn.* [Ukrainian Biochemical Journal], 2012, 84(3), pp. 31–36.
11. Antioxidant responses to variations in dissolved oxygen of *Scapharca inaequalis* and *Tapes philippinarum*, two bivalve species from the lagoon of Venice / P. Irato [et al.] // Mar. Pollut. Bull. – 2007. – Vol. 54. – P. 1020–1030.
12. Uchiyama, M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test / M. Uchiyama, M. Mihara // Analit. Biochem. – 1987. – Vol. 86. – P. 271–278.
13. Koroliuk M.A. *Laboratornoye delo* [Laboratory Business], 1988, 1, pp. 16–19.

Поступила в редакцию 23.05.2017

Адрес для корреспонденции: e-mail: igor\_ivanov\_007@mail.ru – Иванова А.М.