

УДК 594.38:577.114[546.817+546.722+546.47+546.562]

**О. М. Балаева-Тихомирова<sup>1</sup>, Т. А. Толкачева<sup>2</sup>, Е. И. Кацнельсон<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой химии,  
УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры химии,  
УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Аспирант кафедры химии,  
УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь  
Научный руководитель: Балаева-Тихомирова Ольга Михайловна, кандидат биологических наук, доцент

### **ДЕЙСТВИЕ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА УГЛЕВОДНЫЙ ОБМЕН ТКАНЕЙ ПРЕСНОВОДНЫХ ЛЕГОЧНЫХ МОЛЛЮСКОВ**

*Легочные пресноводные моллюски представляют собой тест-организмы для биоэкологических и биохимических исследований путем изучения компонентов среды их обитания и обменных процессов. Легочные моллюски используются для экологического тестирования природных и искусственных водоемов, действия различных физических, химических и биологических факторов. На показатели углеводного обмена в гемолимфе и гепатопанкреасе оказывает влияние соли тяжёлых металлов. Это позволяет сформировать представления об особенностях углеводного обмена у моллюсков, обитающих в водоёмах, на которые оказывают влияние соли тяжёлых металлов, попадающие туда со сточными водами.*

*Ключевые слова: соли тяжёлых металлов, *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, углеводный обмен, глюкоза, гликоген, биотестирование, биомониторинг.*

#### **Введение**

Загрязнение водной среды, наряду с дефицитом пресной воды, является глобальной экологической проблемой. В водоемах увеличивается содержание веществ антропогенного происхождения, токсичность которых для большинства водных организмов проявляется уже в малых концентрациях. Наибольшую экологическую опасность представляют тяжелые металлы, которые обладают токсичностью и кумулятивной способностью. В настоящее время на территории Беларуси, России и Украины в рамках мониторинговых программ проводится изучение и оценка воздействия химических загрязнителей антропогенной природы, поступающих в водоемы, на состояние гидрэкосистем [1], [2].

Медь, железо, цинк, кобальт при накоплении в водной среде являются потенциальной угрозой для живых систем. Они способны нарушать целостность физиологических и биохимических процессов, вызывать серьезные изменения в метаболических реакциях у гидробионтов. Тяжелые металлы, попадая в водные экосистемы, включаются в круговорот веществ и энергии в них, и в отличие от поллютантов органического происхождения не распадаются, а остаются в биогеохимических циклах в течение длительного времени. Некоторые тяжёлые металлы являются биологически активными микроэлементами, которые в очень малых количествах жизненно необходимы для нормального функционирования ряда ферментов растительных и животных организмов. Но увеличение уровня содержания их в водной среде выше предельно допустимого создает реальную угрозу для жизни гидробионтов. Основными мишенями для ионов тяжёлых металлов являются гемосодержащие белки и ферменты, участвующие в процессах детоксикации ксенобиотиков; ферменты систем свободнорадикального и перекисного окисления липидов; транспорта электронов и синтеза АТФ [3], [4].

Наиболее токсичны для организма тяжелые металлы в свободной ионной форме. Соли тяжелых металлов относятся к группе ядов локального действия, которые в первую очередь поражают клетки поверхностного мерцательного эпителия. Внешне это проявляется в обильном ослизнении тела, коагулировании слизи, оголении, разрушении и отторжении клеток эпителия. Все это позволяет ионам тяжелых металлов беспрепятственно поступать в организм животного [5], [6].

Состояние пресноводных экосистем оценивается с применением многих компонентов бентоса, в том числе и моллюсков. Высокая плотность природных популяций, особенности образа жизни (относительно низкая подвижность, питание преимущественно осадочным детритом и

перифитоном) и простота сбора позволяют использовать брюхоногих моллюсков в практике как пассивного, так и активного биомониторинга [7].

Легочные пресноводные моллюски *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* с разными переносчиками кислорода (медьсодержащий гемоцианин и железосодержащий гемоглобин) представляют собой тест-организмы для оценки биоразнообразия водной фауны и биоэкологических исследований. Проведение экотоксикологических исследований с использованием большого прудовика и катушки роговой имеют не только фундаментальную, но и практическую значимость, т. к. данные виды пресноводных легочных моллюсков широко распространены на территории Республики Беларусь, а моллюск *Lymnaea stagnalis* отнесён к объектам мониторинга состояния поверхностных вод Республики Беларусь. Кроме того, благодаря стабильно высокой численности природных популяций и простоте культивирования в лабораторных условиях, *Lymnaea stagnalis* представляет собой удобную и простую тест-систему для исследований в различных областях экспериментальной биологии.

Цель исследования – изучить влияние солей тяжелых металлов в различной концентрации на обмен углеводов в тканях легочных пресноводных моллюсков.

**Материал и методы исследования.** Опыты поставлены на 270 легочных пресноводных моллюсках, разделенных на две группы: 135 особей *Lymnaea stagnalis* (прудовик обыкновенный) и 135 особей *Planorbarius corneus* (роговая катушка). Моллюски собирались осенью (сентябрь – октябрь) из реки Витьба. В каждой исследовательской подгруппе содержалось по 9 моллюсков.

Перед проведением эксперимента для акклиматизации моллюсков выдерживали в емкостях с отстоянной водопроводной водой в течение 2-х суток, плотность посадки моллюсков – 3 экз/л, температура воды – 20–22 °С, pH 7,2–7,7. Ежедневно осуществлялась замена 1/3 ее объема. Животных кормили свежими листьями одуванчиков или зеленого салата.

Для моделирования загрязнения водоемов солями тяжелых металлов проводили токсикологические эксперименты с применением солей железа и меди. В экспериментах были использованы следующие соли тяжелых металлов: сульфат меди  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в концентрации 0,01; 0,1 и 1 мг/л, сернокислое железо  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  в концентрациях 0,3, 3 и 5 мг/л, сульфат цинка  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  в концентрации 0,05; 0,5 и 5,0 мг/л и сульфат свинца  $\text{PbSO}_4$  в концентрации 0,005; 0,05 и 0,5 мг/л с учетом значений предельно-допустимых концентраций (ПДК), установленных для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения [8]. Маточный раствор каждого из ТМ готовили путем растворения навески соли в дистиллированной воде. Рабочие растворы ТМ перед началом опыта и при обновлении токсической среды готовили путём добавления необходимого объема маточного раствора в отстоявшуюся в течение суток водопроводную воду. Продолжительность эксперимента 48 часов. Контролем служили особи, содержащиеся в отстоянной водопроводной воде.

Гемолимфу у *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* получали посредством раздражения ноги лёгким покалыванием иглой от шприца. Это стимулирует рефлекс втягивания ноги в раковину, в результате чего гемолимфа из мантийной полости выделяется наружу. Выделившуюся гемолимфу забирали механической пипеткой. После взятия гемолимфы у моллюсков брали гепатопанкреас. Путём механического воздействия дробили раковину моллюска и острым скальпелем осторожно отделяли гепатопанкреас от соединительной и жировой ткани. Большая часть печени у *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* располагается в последних витках раковины.

Определение уровня глюкозы в гемолимфе проводили глюкозооксидазным методом наборами фирмы Диакон Диасис [9]. Гликоген определяли методом Krisman [10].

Математическую обработку полученных результатов проводили методами параметрической и непараметрической статистики с использованием пакета статистических программ Microsoft Excel 2003 и STATISTICA.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

У моллюсков гепатопанкреас является источником глюкозы гемолимфы. При воздействии солей тяжелых металлов в организме моллюсков интенсивнее протекают обменные процессы, о чем свидетельствует сокращение резервов важнейшего энергетического субстрата – гликогена. Можно предположить, что гипергликемия при воздействии солей тяжелых металлов может быть обусловлена усиленной мобилизацией углеводов гепатопанкреаса, мышц и других органов моллюска, что может свидетельствовать о повышении защитно-компенсаторных способностей организма моллюсков в ответ на отравление.

Первую опытную группу поместили в воду, содержащую растворённый  $\text{CuSO}_4$ , т. к. ион меди содержится у прудовиков в переносчике кислорода – гемоцианине.

При действии сульфата меди (II) в концентрации 1 мг/л у *Lymnaea stagnalis* наблюдается понижение содержания гликогена в гепатопанкреасе в 2,2 раза, а в мышце в 1,7 раза по сравнению с контрольной группой. При действии сульфата меди (II) в концентрациях 0,1 и 1 мг/л у *Lymnaea stagnalis* наблюдается понижение содержания гликогена в гепатопанкреасе в 1,3 и 2 раза соответственно, а в мышце при концентрации 1,0 мг/л уменьшается в 1,7 раза по сравнению с группой  $\text{CuSO}_4$ , 0,01 мг/л. При действии сульфата меди (II) в концентрации 1 мг/л у *Lymnaea stagnalis* наблюдается понижение содержания гликогена в гепатопанкреасе в 1,5 раза, а в мышце при концентрации 1,0 мг/л уменьшается в 1,8 раза по сравнению с группой  $\text{CuSO}_4$  0,1 мг/л (таблица 1).

Таблица 1. – Влияние сульфата меди (II) на содержание гликогена в гепатопанкреасе и мышце *Lymnaea stagnalis* ( $M \pm m$ )

Группы	<i>Lymnaea stagnalis</i> (печень)	<i>Lymnaea stagnalis</i> (мышца)
Контроль, (n=9)	26,91±0,474	35,54±0,349
$\text{CuSO}_4$ , 0,01 мг/л, (n=9)	27,72±0,502*	36,55±0,648*
$\text{CuSO}_4$ , 0,1 мг/л, (n=9)	21,15±0,26*	38,86±0,302*
$\text{CuSO}_4$ , 1,0 мг/л, (n=9)	13,74±0,271*	21,43±0,691*

Примечание – \* $P < 0,05$  по сравнению с контрольной группой

Сульфат меди (II) в концентрации 0,01 мг/л у *Planorbarius corneus* вызывает понижение содержания гликогена в гепатопанкреасе в 1,5 раза, 0,1 мг/л – 1,6 раза, 5,0 – 2,8 раза по сравнению с контрольной группой. При воздействии сульфата меди (II) в концентрациях 0,1 и 1,0 мг/л у катушек снизилось содержание гликогена в гепатопанкреасе в 1,1 раза и 1,9 раза соответственно по сравнению с группой  $\text{CuSO}_4$ , 0,01 мг/л. При воздействии сульфата меди (II) в концентрации 1,0 мг/л у катушек снизилось содержание гликогена в гепатопанкреасе в 1,7 раза по сравнению с группой  $\text{CuSO}_4$ , 0,1 мг/л (таблица 2).

Таблица 2. – Влияние сульфата меди (II) на содержание гликогена в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* ( $M \pm m$ )

Группы	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль, (n=9)	24,61±0,484
$\text{CuSO}_4$ , 0,01 мг/л, (n=9)	16,45±0,246*
$\text{CuSO}_4$ , 0,1 мг/л, (n=9)	15,56±0,375
$\text{CuSO}_4$ , 1,0 мг/л, (n=9)	8,92±0,298*

Примечание – \* $P < 0,05$  по сравнению с контрольной группой

При воздействии сульфата меди (II) концентрацией 0,1 мг/л происходит повышение уровня глюкозы в гемолимфе прудовиков в 1,6 раза, а у катушек в 1,7 раза, а при воздействии сульфата меди (II) концентрацией 1 мг/л у прудовиков концентрация глюкозы увеличивается в 4,2 раза по сравнению с контрольной группой. При воздействии сульфата меди (II) в концентрациях 0,1 мг/л и 1,0 мг/л происходит повышение уровня глюкозы в гемолимфе прудовиков в 1,7 и 2,7 раза соответственно, а у катушек при воздействии сульфата меди (II) в концентрации 1 мг/л в 1,6 раза по сравнению группой  $\text{CuSO}_4$ , 0,01 мг/л. При воздействии сульфата меди (II) концентрацией 1 мг/л происходит повышение уровня глюкозы в гемолимфе прудовиков в 1,5 раза, а у катушек в 1,5 раза по сравнению группой  $\text{CuSO}_4$ , 0,1 мг/л (таблица 3).

Таблица 3. – Влияние сульфата меди (II) на содержание глюкозы в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* ( $M \pm m$ )

Группы	<i>Lymnaea stagnalis</i>	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль, (n=9)	0,37±0,011	1,54±0,072
$\text{CuSO}_4$ , 0,01 мг/л, (n=9)	0,6±0,027*	1,62±0,022
$\text{CuSO}_4$ , 0,1 мг/л, (n=9)	1,0±0,032*	1,73±0,02*
$\text{CuSO}_4$ , 1,0 мг/л, (n=9)	1,54±0,036*	2,6±0,031*

Примечание – \* $P < 0,05$  по сравнению с контрольной группой

Для исследования влияния солей тяжелых металлов на обмен углеводов у пресноводных легочных моллюсков особи были помещены в воду, содержащую растворённый  $\text{FeSO}_4$ , т. к. железо является переносчиком кислорода в комплексе с гемоглобином у катушки роговой.

В эксперименте на *Lymnaea stagnalis* при внесении особей в воду, содержащую  $\text{Fe}^{2+}$  в концентрациях 0,3, 3 и 5 мг/л была отмечена гибель животных в течение первых суток опыта 70 %, на вторые сутки 100 % гибель. Сульфат железа (II) на первых этапах отравления действуют на моллюсков как локальный яд, вызывающий местные повреждения покровов тела.

У *Lymnaea stagnalis* под воздействием сульфата железа (II) наблюдаются дегенеративно-некротические изменения кожного эпителия, ослизнения. На поврежденных участках эпителиальные клетки набухают, отторгаются и слущиваются. При этом образуются небольшие (точечные), многочисленные кровоточащие язвы.

Данный результат свидетельствует о непереносимости прудовиками избытка ионов железа в воде и массовой гибели животных из-за менее приспособленной обменной системы, где главным переносчиком кислорода является медьсодержащий белок гемоцианин, имеющий третичную структуру. А *Planorbarius corneus*, у которых роль переносчика кислорода выполняет железосодержащий белок гемоглобин, являются более эволюционно приспособленными к действию солей тяжёлых металлов, что и подтверждается проведёнными опытами.

Сульфат железа (II) в концентрации 0,3 мг/л у *Planorbarius corneus* вызывает понижение содержания гликогена в гепатопанкреасе в 1,2 раза, 3,0 мг/л – 1,4 раза, 5,0 – 2,1 раза по сравнению с контрольной группой. При воздействии сульфата железа (II) в концентрациях 3,0 и 5,0 мг/л у катушек снизилось содержание гликогена в гепатопанкреасе в 1,2 раза и 1,7 раза соответственно по сравнению с группой  $\text{FeSO}_4$  0,3 мг/л. При воздействии сульфата железа (II) в концентрации 5,0 мг/л у катушек снизилось содержание гликогена в гепатопанкреасе в 1,5 раза по сравнению с группой  $\text{FeSO}_4$  3 мг/л (таблица 4).

Таблица 4. – Влияние сульфата железа (II) на содержание гликогена в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* ( $M \pm m$ )

Группы	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль (n=9)	26,26±0,22
$\text{FeSO}_4$ , 0,3 мг/л (n=9)	21,19±0,43*
$\text{FeSO}_4$ , 3,0 мг/л (n=9)	18,26±7,72*
$\text{FeSO}_4$ , 5,0 мг/л (n=9)	12,52±0,78*

Примечание – \* $P < 0,05$  по сравнению с контрольной группой

Сульфат железа (II) в концентрации 0,3 мг/л у *Planorbarius corneus* не вызывает достоверного увеличения содержания глюкозы в гемолимфе (таблица 5). При воздействии сульфата железа (II) в концентрациях 3,0 и 5,0 мг/л у катушек увеличилось содержание глюкозы в гемолимфе в 1,6 раза и 1,5 раза соответственно по сравнению с контрольной группой. При воздействии сульфата железа (II) в концентрации 5,0 мг/л у катушек снизилось содержание гликогена в гепатопанкреасе в 1,5 раза по сравнению с группой  $\text{FeSO}_4$ , 3 мг/л.

Таблица 5. – Влияние сульфата железа (II) на содержание глюкозы в гемолимфе *Planorbarius corneus* ( $M \pm m$ )

Группы	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль (n=9)	0,23±0,008
$\text{FeSO}_4$ , 0,3 мг/л (n=9)	0,28±0,017
$\text{FeSO}_4$ , 3,0 мг/л (n=9)	0,37±0,011*
$\text{FeSO}_4$ , 5,0 мг/л (n=9)	0,35±0,009*

Примечание – \* $P < 0,05$  по сравнению с контрольной группой

Содержание гликогена и глюкозы в тканях легочных моллюсков имеет четко прослеживаемую закономерность: с увеличением концентрации солей тяжёлых металлов в воде происходит снижение содержания гликогена в гепатопанкреасе и соответствующее повышение концентрации глюкозы в гемолимфе.

Для экологического биомониторинга водной среды обитания, основанной на исследовании обмена веществ у легочных пресноводных моллюсков, диагностически значимым показателем гемолимфы, который достоверно связан с обменом веществ в гепатопанкреасе, является концентрация глюкозы, что доказано на опытах с сульфатами меди (II) и железа (II).

Для подтверждения полученных результатов были взяты сульфат цинка (II) в концентрации 0,05; 0,5 и 5,0 мг/л и сульфат свинца (II)<sub>4</sub> в концентрации 0,005; 0,05 и 0,5 мг/л. При сопоставлении полученных данных по содержанию глюкозы в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus*

при действии солей свинца и цинка по сравнению с действием солей меди и железа прослеживается схожая закономерность в повышении уровня глюкозы и соответствующего прогнозируемого снижения содержания гликогена.

При воздействии сульфата цинка (II) концентрацией 0,05 мг/л происходит повышение уровня глюкозы в гемолимфе прудовиков в 2,4 раза, а у катушек в 1,8 раза, при воздействии сульфата цинка (II) концентрацией 0,5 мг/л у прудовиков содержание глюкозы увеличивается в 2,7 раза, а у катушек – в 1,3 раза, а при действии сульфата цинка (II) концентрацией 5,0 мг/л происходит повышение уровня глюкозы в гемолимфе прудовиков в 1,7 раза, а у катушек наблюдается снижение содержания глюкозы в 1,6 раза по сравнению с контрольной группой. При воздействии сульфата цинка (II) в концентрациях 0,05 мг/л и 0,5 мг/л происходит понижение уровня глюкозы в гемолимфе прудовиков в 1,4 и 1,6 раза соответственно, а у катушек – в 3 и 2,2 раза соответственно раз по сравнению группой ZnSO<sub>4</sub>, 5,0 мг/л (таблица 6).

Таблица 6. – Влияние сульфата цинка (II) на содержание глюкозы в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* (M±m)

Группы	<i>Lymnaea stagnalis</i>	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль (n=9)	0,52 ± 0,14	0,97 ± 0,25
ZnSO <sub>4</sub> , 0,05 мг/л (n=9)	1,25 ± 0,21*	1,785 ± 0,33*
ZnSO <sub>4</sub> , 0,5 мг/л (n=9)	1,38 ± 0,11*	1,303 ± 0,24*
ZnSO <sub>4</sub> , 5,0 мг/л (n=9)	0,89 ± 0,16*	0,598 ± 0,07

Примечание – \*P<0,05 по сравнению с контрольной группой

При воздействии сульфата свинца (II) концентрацией 0,005 мг/л происходит повышение уровня глюкозы в гемолимфе прудовиков в 2,9 раза, у катушек уровень глюкозы в гемолимфе не изменяется, при воздействии сульфата свинца (II) концентрацией 0,05 мг/л у прудовиков содержание глюкозы увеличивается в 1,2 раза, а у катушек понижается в 1,4 раза, а при действии сульфата свинца (II) концентрацией 0,5 мг/л происходит повышение уровня глюкозы в гемолимфе прудовиков в 2,5 раза, а у катушек наблюдается увеличение содержания глюкозы в 1,3 раза по сравнению с контрольной группой. При воздействии сульфата свинца (II) в концентрации 0,05 мг/л происходит понижение уровня глюкозы в гемолимфе прудовиков в 2,4 раза, а у катушек при воздействии PbSO<sub>4</sub>, 0,5 мг/л повышается в 1,3 раза по сравнению группой PbSO<sub>4</sub> 0,005 мг/л (таблица 7).

Таблица 7. – Влияние сульфата свинца (II) на содержание глюкозы в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* (M±m)

Группы	<i>Lymnaea stagnalis</i>	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль (n=9)	0,52 ± 0,14	0,97 ± 0,25
PbSO <sub>4</sub> , 0,005 мг/л (n=9)	1,48 ± 0,23*	0,97 ± 0,35
PbSO <sub>4</sub> , 0,05 мг/л (n=9)	0,61 ± 0,12*	0,68 ± 0,19
PbSO <sub>4</sub> , 0,5 мг/л (n=9)	1,30 ± 0,33*	1,25 ± 0,35

Примечание – \*P<0,05 по сравнению с контрольной группой

Существенные различия были отмечены на межвидовом уровне. В сравнении с *Planorbarius corneus* содержание глюкозы в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* в контрольной группе было в 4,2 раза ниже; при действии сульфата меди (II) в концентрациях 0,01 мг/л – в 2,7 раза, 0,1 мг/л – в 1,7 раза и 1,0 мг/л – в 1,7 раза ниже.

При сравнении содержания гликогена в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* в контрольных группах статистически значимых различий выявлено не было; при действии сульфата меди (II) в концентрации 0,01 мг/л у катушки роговой содержание гликогена в 1,7 раза ниже, чем у прудовика обыкновенного; 0,1 мг/л – в 1,4 раза ниже, а при концентрации 1,0 мг/л – в 1,5 раза ниже.

### Выводы

В практике эколого-гигиенических исследований широко применяются экспресс-методы с использованием биологических систем различных уровней организации.

Моделирование водных систем, содержащих разные концентрации солей тяжелых металлов, позволяют определить концентрации ионов меди, железа цинка и свинца, которые вызывают нарушение процесса метаболизма в организме легочных пресноводных моллюсков. Концентрация ионов меди ниже значения ПДК для объектов бытового пользования (менее 1,0 мг/л), но выше значения ПДК для объектов рыбохозяйственного назначения (выше 0,001 мг/л) вызывают

изменения метаболизма, проявляющиеся активацией процессов свободно-радикального окисления и снижением активности антиоксидантной системы защиты. Ионы железа, цинка и свинца оказывают меньшее токсическое действие по сравнению с ионами меди. Более устойчивой к токсическому действию солей тяжелых металлов оказалась катушка роговая. Таким образом, сульфат меди, сульфат цинка, сульфат свинца и сульфат железа вызывают метаболические изменения в организме моллюсков, которые характеризуются изменениями в углеводном обмене.

Сравнительный анализ чувствительности и экотоксикологической значимости токсических эффектов, полученных нами в экспериментах, позволяет сделать вывод о целесообразности применения теста по изучению токсичности солей тяжёлых металлов на основе изменения показателей углеводного обмена *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* и наряду с другими тест-системами использовать в практике лабораторного биотестирования отходов производства с целью оценки их степени опасности для окружающей среды.

#### СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брень, Н. В. Биологический мониторинг и общие закономерности накопления тяжёлых металлов пресноводными донными беспозвоночными загрязнителями водных экосистем тяжёлыми металлами / Н. В. Брень // Гидробиол. журн. – 2008. – Т. 44, № 2. – С. 96–115.
2. Киричук, Г. Е. Особенности накопления ионов тяжёлых металлов в организме пресноводных моллюсков / Г. Е. Киричук // Гидробиол. журн. – 2006. – Т. 42, № 4. – С. 99–110.
3. Маханько, Э. П. Закономерности атмосферных выпадений некоторых металлов / Э. П. Маханько, Т. Н. Жигаловская, В. М. Дроздова // Труды Института прикладной геофизики. – Л., 1976. – Вып. 21. – С. 164–169.
4. Тулупов, П. Е. Экологическая опасность мест складирования отходов производства и потребления (МСОПП) / П. Е. Тулупов, А. П. Тулупов // Экология. – 2004. – № 5. – С. 393–397.
5. Дроганова, Т. С. Метаболическая адаптация речной живородки *Viviparus viviparus* L. к сублетальному токсическому воздействию тяжелых металлов / Т. С. Дроганова, Л. В. Поликарпова, И. Л. Цветков // Вестник МГОУ. – 2014. – № 4. – С. 22–27.
6. Метод экспериментального определения токсичности отходов производства: инструкция : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 07.04.2016, № 044-1215. – Введ. с 20.06.2016. – Минск, 2015. – 56 с.
7. Бабуева, Р. В. Брюхоногие моллюски (Gastropoda) верхней Оби и Обь-Иртышского междуречья, их роль в биоиндикации вод / Р. В. Бабуева // Проблемы устойчивого развития Обь-Иртышского бассейна. – Новосибирск : Наука, 2005. – С. 116–118.
8. Гигиенические нормативы 2.1.5.10-21-2003 // Сб. гигиенических нормативов по разделу коммунальной гигиены. – Минск, 2004. – С. 38–75.
9. Чиркин, А. А. Липидный обмен : монография / А. А. Чиркин, Э. А. Доценко, Г. И. Юпатов. – М. : Медицинская литература, 2003. – 128 с.
10. Krisman, C. R. A method for the colometric estimation of glycogen with iodine / C. R. Krisman // Anal/ Biochem. – 1962. – Vol. 4. – P. 17–23.

Поступила в редакцию 19.01.18

E-mail: olgabal.tih@gmail.com; tanyatolkacheva@mail.ru; kate\_kaznelson@tut.by

O. M. Balaeva-Tikhomirova, T. A. Tolkacheva, E. I. Katsnelson

#### EFFECT OF HEAVY METAL SALTS ON THE PARAMETERS OF CARBOHYDRATE METABOLISM OF FRESHWATER PULMONARY MOLLUSCS' TISSUES

Pulmonary freshwater mollusks are test organisms for bioecological and biochemical research by studying the components of their habitat and metabolic processes. Pulmonary mollusks are used for ecological testing of natural and artificial reservoirs, actions of various physical, chemical and biological factors. The parameters of carbohydrate metabolism in hemolymph and hepatopancreas are affected by salts of heavy metals. It allows forming ideas about the features of carbohydrate metabolism in mollusks that live in water bodies influenced by salts of heavy metals that enter there with sewage.

Keywords: salts of heavy metals, *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, carbohydrate metabolism, glucose, glycogen, biotesting, biomonitoring.