

УДК 594.38:577.1(476.5)

Оценка уровня антропогенной нагрузки на водоёмы центральной зоны Белорусского Поозерья

Е.И. КАЦНЕЛЬСОН, Н.Н. ШЕЛЕГ, Л.Ю. СИДОРОВА, О.М. БАЛАЕВА-ТИХОМИРОВА

В настоящее время наблюдается усиление неблагоприятного воздействия на природные водоёмы. Для оценки состояния пресноводных экосистем применяются многие компоненты бентоса, в том числе и моллюски. Легочные пресноводные моллюски *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* с разным типом транспорта кислорода представляют собой универсальные тест-организмы для биоэкологических и биохимических исследований.

Ключевые слова: легочные моллюски, *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, биомониторинг, показатели обмена веществ.

Currently, there is an increase in adverse effects on natural water bodies. Many benthos components, including mollusks, are used to assess the state of freshwater ecosystems. Pulmonary freshwater mollusks *Planorbarius corneus* and *Lymnaea stagnalis*, with different types of oxygen transport, are universal test organisms for bioecological and biochemical studies.

Keywords: pulmonary mollusks, *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, biomonitoring, metabolic rates.

Для диагностики состояния водных объектов часто применяется биоиндикация. В ее задачи входит оценка состояния окружающей среды с использованием живых организмов – от микроорганизмов до млекопитающих. При биомониторинге пресноводных экосистем универсальными тест-объектами служат животные макрозообентоса. Они удовлетворяют многим требованиям к биоиндикаторам, среди которых: повсеместная встречаемость, высокая численность, относительно крупные размеры, удобство сбора, продолжительный срок жизни, чтобы аккумулировать загрязняющие вещества за длительный период. Бентосные организмы не являются хозяйственно ценными или уникальными объектами, поэтому их отлов из водоема в исследовательских целях не наносит ущерб экосистеме. Моллюсков по комплексу критериев относят к перспективным объектам для биоиндикации при оценке состояния водных экосистем. Эти животные являются чувствительными к загрязнению водоемов тяжелыми металлами и играют ведущую роль в накоплении и переносе химических веществ в водоемах [1]–[3].

Цель работы – установление степени влияния неблагоприятных факторов на пресноводные экосистемы по особенностям изменения метаболизма легочных пресноводных моллюсков.

Материалы и методы. Объектами исследования были легочные моллюски, обитающие в изучаемых водоёмах (таблица 1).

Таблица 1 – Места отбора моллюсков

| Район отбора проб | Место сбора | Название водоема |
|--------------------|-------------|-------------------|
| Витебский р-н | г. Витебск | р. Витьба |
| Дубровенский р-н | д. Шеки | оз. Афанасьевское |
| Бешенковичский р-н | д. Соорово | оз. Сооровское |

Биохимические исследования проводили на 324 моллюсках, по 162 особи *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis*. Моллюски собирались весной (апрель-май), летом (июль) и осенью (сентябрь-октябрь) из водоемов трех районов Витебской области.

Определение показателей гемолимфы проводили с использованием наборов реагентов НТПК «Анализ Х» (общий белок, мочевая кислота, мочевины, глюкоза) [4]. Определение концентрации белка в тканях проводили по методу Лоури [5]. Содержание ДНК и РНК устанавливали по методу Vlober и Potter [6]. Гликоген определяли методом Krisman [7]. Для количественного установления содержания ТБК-позитивных веществ (ТБК-ПВ) использовали

тест с 2-тиобарбитуровой кислотой [8]. Активность каталазы выявляли по реакции с молибдатом аммония [9]. Определение количества восстановленного глутатиона проводили по реакции взаимодействия GSH с 5,5'-дитио-бис-2-нитробензойной кислотой [10].

Математическую обработку полученных результатов проводили методами параметрической и непараметрической статистики с использованием пакета статистических программ Microsoft Excel 2010, STATISTICA 12.5.

Результаты исследования. Изменения окружающей среды влияют на водные экосистемы в целом и на их обитателей. Поэтому в качестве биоиндикаторов антропогенного влияния на среду используют легочных пресноводных моллюсков. Методы биоиндикации имеют ряд существенных преимуществ по сравнению физико-химическими методами анализа: высокая чувствительность и специфичность биоиндикаторов к токсическим веществам; возможность характеризовать состояние среды за длительный промежуток времени; низкая себестоимость исследований [11].

Определение особенностей метаболизма легочных пресноводных моллюсков проводили с учетом сезонных изменений и условий обитания особей, отобранных из трех исследуемых водоемов.

Моллюски из реки Витьба Витебского района характеризуются следующими показателями обмена веществ (таблицы 2, 3).

Таблица 2 – Показатели обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* из р. Витьба Витебского района ($M \pm m$)

| Показатель | Сезон года | | |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------|----------------------------|
| | Весна (n = 9) | Лето (n = 9) | Осень (n = 9) |
| Общий белок (гемолимфа) (мг/мл) | 37,04 ± 0,52 ¹ | 24,15 ± 0,32 | 33,31 ± 0,46 ¹ |
| Общий белок (гепатопанкреас) (мг/г) | 189 ± 7,1 ^{1,2} | 135 ± 7,3 | 256 ± 8,2 ¹ |
| ДНК (мг/г) | 1,44 ± 0,11 ² | 1,67 ± 0,09 | 1,83 ± 0,10 ¹ |
| РНК (мг/г) | 10,20 ± 0,58 ^{1,2} | 7,44 ± 0,35 | 5,46 ± 0,35 ¹ |
| Мочевая к-та (мкмоль/л) | 137,99 ± 5,23 ^{1,2} | 119,56 ± 3,45 | 92,14 ± 2,02 ¹ |
| Мочевина (ммоль/л) | 6,54 ± 0,06 ¹ | 8,15 ± 0,08 | 6,02 ± 0,06 ¹ |
| Глюкоза (ммоль/л) | 1,90 ± 0,072 ^{1,2} | 1,21 ± 0,022 | 0,73 ± 0,045 ¹ |
| Гликоген (мг/г) | 17,58 ± 0,133 ^{1,2} | 20,88 ± 0,244 | 24,05 ± 0,208 ¹ |
| ТБК-ПВ (мкмоль/г) | 8,04 ± 0,55 ^{1,2} | 4,36 ± 0,25 | 5,24 ± 0,33 ¹ |
| Восстановленный глутатион(мкмоль/г) | 11,43 ± 0,15 ^{1,2} | 7,22 ± 0,08 | 8,94 ± 0,07 ¹ |
| Каталаза (мкмоль/мин/г) | 82,4 ± 1,4 ^{1,2} | 31,2 ± 1,2 | 52,3 ± 1,3 ¹ |

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; ²p < 0,05 по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков.

Таблица 3 – Показатели обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* из р. Витьба Витебского района ($M \pm m$)

| Показатель | Сезон года | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------|---------------------------|
| | Весна (n = 9) | Лето (n = 9) | Осень (n = 9) |
| Общий белок (гемолимфа) (мг/мл) | 14,03 ± 0,22 ¹ | 11,35 ± 0,16 | 15,87 ± 0,25 ¹ |
| Общий белок (гепатопанкреас) (мг/г) | 271 ± 7,6 ^{1,2} | 186 ± 8,8 | 323 ± 21,7 ¹ |
| ДНК (мг/г) | 1,74 ± 0,04 ^{1,2} | 2,09 ± 0,04 | 2,49 ± 0,03 ¹ |
| РНК (мг/г) | 9,07 ± 0,42 ^{1,2} | 7,06 ± 0,16 | 5,74 ± 0,24 ¹ |
| Мочевая к-та (мкмоль/л) | 74,47 ± 1,48 ^{1,2} | 45,56 ± 2,33 | 25,46 ± 0,64 ¹ |
| Мочевина (ммоль/л) | 5,93 ± 0,17 ¹ | 7,14 ± 0,11 | 6,05 ± 0,03 ¹ |
| Глюкоза (ммоль/л) | 0,93 ± 0,006 ^{1,2} | 0,60 ± 0,035 | 0,41 ± 0,037 ¹ |
| Гликоген (мг/г) | 23,11 ± 0,174 ² | 26,21 ± 0,182 | 27,42 ± 0,612 |
| ТБК-ПВ (мкмоль/г) | 9,32 ± 0,47 ^{1,2} | 3,56 ± 0,24 | 5,18 ± 0,26 ¹ |
| Восстановленный глутатион(мкмоль/г) | 11,64 ± 0,13 ^{1,2} | 8,04 ± 0,05 | 9,12 ± 0,08 ¹ |
| Каталаза (мкмоль/мин/г) | 88,4 ± 2,3 ^{1,2} | 41,4 ± 1,3 | 56,6 ± 2,6 ¹ |

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; ²p < 0,05 по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков.

Содержание общего белка в гепатопанкреасе обоих видов моллюсков в весенний и осенний периоды сбора превышало летние значения показателя в 1,4 и 1,9 раза соответ-

ственно. Концентрация общего белка в гемолимфе *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis*, собранных летом, была меньше в 1,4 раза по сравнению с моллюсками, собранными весной и осенью. Содержание мочевины в гемолимфе моллюсков, собранных летом, превышал весенние и осенние значения в 1,2 раза. Уровень ДНК в гепатопанкреасе катушки роговой и прудовика обыкновенного увеличивается от весны к осени в 1,2 и 1,4 раза соответственно. Содержание гликогена в гепатопанкреасе двух видов моллюсков увеличивается от весны к осени в 1,2 раза. По сравнению с осенним периодом сбора у *Planorbarius corneus* повышено содержание РНК в весенний и летний периоды сбора в 1,9 и 1,4 раза, у *Lymnaea stagnalis* – в 1,6 и 1,2 раза. Концентрация мочевой кислоты выше в весенний и летний периоды сбора у катушки обыкновенной в 1,2 и 1,5 раза соответственно, у прудовика обыкновенного – в 2,9 и 1,6 раза по сравнению с осенним периодом сбора. По сравнению с весенним и летним периодами сбора у двух видов моллюсков снижено содержание глюкозы в осенний период сбора в 2,3 и 1,6 раза соответственно. У *Planorbarius corneus* повышено содержание ТБК-ПВ и восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе в осенний и весенний периоды сбора в 1,6 и 1,2 раза соответственно, у *Lymnaea stagnalis* в 2,6 и 1,5 раза ТБК-ПВ и в 1,4 раза восстановленный глутатион по сравнению с летним периодом сбора. Активность каталазы по сравнению с летним периодом сбора у *Planorbarius corneus* повышена в 2,6 и 1,7 раза, у *Lymnaea stagnalis* – в 2,1 и 1,4 в весенний и осенний периоды сбора (таблицы 2, 3).

Данные особенности обмена веществ легочных пресноводных моллюсков связаны с экологическими характеристиками реки Витьба Витебского района и ее прибрежной зоны. Витьба – река в Витебском районе, левый приток реки Западная Двина. Длина – 33 км. Река берет начало у деревни Поддубье. Площадь водосбора – 275 км². Водосбор на северо-западных склонах Витебской возвышенности. В границе города река имеет протяженность 4,8 км. Русло реки извилистое, шириной 20–30 м, в низовье – до 60 м. На берегах и островах реки созданы зоны отдыха, в которые входят парк имени Фрунзе и зона отдыха на набережной реки Витьба. На дне реки обнаружен черный ил, что свидетельствует о большом количестве органических веществ в воде. Вода имеет желтоватый оттенок и болотный запах, что является начальными признаками эвтрофикации водоема.

Сравнив концентрации катионов, ионов тяжелых металлов, активность ферментов в пробах воды и почвы со значениями ПДК и средней активностью ферментов было установлено превышение всех исследуемых показателей. Высокое содержание ионов железа, меди и цинка в пробах почвы и воды обусловлено сбросом стоков в реку и активным использованием водных ресурсов в промышленных целях. Активность ферментов в почве зависит от содержания тяжелых металлов. Чем больше концентрация тяжелых металлов в почве, тем слабее активность каталазы и протеазы активность, и выше уреазы. Ионы тяжелых металлов негативно влияют на обмен веществ моллюсков, активируя окислительный стресс. У моллюсков из реки Витьба отмечены наибольшие значения содержания ТБК-ПВ, восстановленного глутатиона и активности каталазы по сравнению с моллюсками из других районов сбора. Повышенное содержание катионов аммония в воде приводит к увеличению содержания продуктов азотного обмена у моллюсков. Высокое содержание катионов магния и кальция обуславливают высокие значения карбонатной и общей жесткости воды, что негативно отражается на метаболизме моллюсков.

Моллюски из озера Афанасьевское Дубровенского района характеризуются следующими показателями обмена веществ (таблицы 4, 5).

Таблица 4 – Показатели обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* из оз. Афанасьевское Дубровенского района ($M \pm m$)

| Показатель | Сезон года | | |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------|---------------------------|
| | Весна (n = 9) | Лето (n = 9) | Осень (n = 9) |
| Общий белок (гемолимфа) (мг/мл) | 33,40 ± 0,63 ¹ | 25,02 ± 0,44 | 31,24 ± 0,65 ¹ |
| Общий белок (гепатопанкреас) (мг/г) | 123 ± 5,2 ^{1,2} | 100 ± 4,1 | 139 ± 8,6 ¹ |
| ДНК (мг/г) | 1,64 ± 0,16 ² | 1,83 ± 0,09 | 2,00 ± 0,07 ¹ |
| РНК (мг/г) | 11,06 ± 0,55 ^{1,2} | 9,87 ± 0,27 | 6,12 ± 0,15 ¹ |
| Мочевая к-та (мкмоль/л) | 149,28 ± 1,68 ^{1,2} | 129,66 ± 4,45 | 82,46 ± 2,16 ¹ |
| Мочевина (ммоль/л) | 6,34 ± 0,07 ¹ | 7,35 ± 0,04 | 6,34 ± 0,06 ¹ |
| Глюкоза (ммоль/л) | 1,33 ± 0,068 ^{1,2} | 0,96 ± 0,045 | 0,67 ± 0,069 ¹ |

Окончание таблицы 4

| | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------|----------------------------|
| Гликоген (мг/г) | 20,23 ± 0,255 ^{1,2} | 22,51 ± 0,312 | 24,52 ± 0,327 ¹ |
| ТБК-ПВ (мкмоль/г) | 5,98 ± 0,36 ^{1,2} | 2,67 ± 0,24 | 4,54 ± 0,17 ¹ |
| Восстановленный глутатион(мкмоль/г) | 10,56 ± 0,06 ^{1,2} | 7,04 ± 0,04 | 9,16 ± 0,13 ¹ |
| Каталаза (мкмоль/мин/г) | 64,5 ± 2,1 ^{1,2} | 27,4 ± 1,4 | 48,6 ± 1,7 ¹ |

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; ²p < 0,05 по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков.

Таблица 5 – Показатели обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* из оз. Афанасьевское Дубровенского района ($M \pm m$)

| Показатель | Сезон года | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------|---------------------------|
| | Весна (n = 9) | Лето (n = 9) | Осень (n = 9) |
| Общий белок (гемолимфа) (мг/мл) | 13,14 ± 0,33 ¹ | 10,05 ± 0,18 | 14,14 ± 0,17 ¹ |
| Общий белок (гепатопанкреас) (мг/г) | 196 ± 4,7 ^{1,2} | 120 ± 8,7 | 228 ± 7,8 ¹ |
| ДНК (мг/г) | 1,13 ± 0,03 ^{1,2} | 1,21 ± 0,02 | 1,43 ± 0,03 ¹ |
| РНК (мг/г) | 10,33 ± 0,36 ² | 8,46 ± 0,27 | 6,77 ± 0,25 ¹ |
| Мочевая к-та (мкмоль/л) | 77,61 ± 1,02 ^{1,2} | 54,58 ± 1,74 | 35,31 ± 0,49 ¹ |
| Мочевина (ммоль/л) | 6,37 ± 0,12 ¹ | 8,22 ± 0,12 | 6,55 ± 0,05 ¹ |
| Глюкоза (ммоль/л) | 0,82 ± 0,012 ^{1,2} | 0,51 ± 0,042 | 0,36 ± 0,026 ¹ |
| Гликоген (мг/г) | 24,66 ± 0,287 ² | 26,98 ± 0,169 | 28,15 ± 0,481 |
| ТБК-ПВ (мкмоль/г) | 5,34 ± 0,21 ¹ | 2,67 ± 0,18 | 4,22 ± 0,34 ¹ |
| Восстановленный глутатион(мкмоль/г) | 10,12 ± 0,16 ^{1,2} | 7,56 ± 0,17 | 9,26 ± 0,06 ¹ |
| Каталаза (мкмоль/мин/г) | 70,2 ± 1,6 ^{1,2} | 29,6 ± 1,7 | 50,6 ± 2,5 ¹ |

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; ²p < 0,05 по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков.

Уровень общего белка в гепатопанкреасе в весенний и осенний периоды сбора превышал летние значения в 1,2 и 1,4 раза у *Planorbarius corneus* и 1,6 и 1,9 раза у *Lymnaea stagnalis*. Содержание общего белка в гемолимфе обоих видов моллюсков в весенний и осенний периоды сбора превышало в 1,4 раза летние значения. Концентрация мочевины у прудовика обыкновенного и катушки роговой, собранных летом, превышала весенние и осенние значения в 1,2 раза. Уровень ДНК и гликогена в гепатопанкреасе двух видов моллюсков увеличивается от весны к осени в 1,2 раза. У *Planorbarius corneus* повышен уровень РНК в весенний и летний периоды сбора в 1,8 и 1,6 раз, у *Lymnaea stagnalis* – в 1,5 и 1,2 раза соответственно. По сравнению с осенним периодом сбора у катушки роговой повышена концентрация мочевой кислоты в весенний и летний периоды сбора в 1,8 и 1,6 раза, у прудовика обыкновенного – в 1,4 и 2,2 раза соответственно. У двух видов моллюсков повышено содержание глюкозы в весенний и летний периоды сбора в 2,0 и 1,4 раза соответственно. По сравнению с летним периодом сбора у *Planorbarius corneus* повышено содержание ТБК-ПВ и восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе в осенний и весенний периоды сбора в 2,0 и 1,6 раз, у *Lymnaea stagnalis* – в 1,4 и 1,3 раза соответственно. У *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* повышена активность каталазы в весенний и осенний периоды сбора в 2,4 и 1,7 раз по сравнению с летним периодом сбора (таблицы 4, 5).

Данные характеристики обмена веществ *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* связаны с экологическими особенностями о. Афанасьевского Дубровенского района и его прибрежной зоны. Озеро Афанасьевское расположено в Дубровенском районе Витебской области, в 5,2 км от границы со Смоленской областью (РФ), относится к бассейну р. Лучеса. Площадь зеркала 0,24 км, длина 1,5 км, наибольшая ширина 0,35 км, максимальная глубина 2,7 м, длина береговой линии 2,4 км. Объем воды 0,43 млн. м³, площадь водосбора 80,7 км. Берега песчаные, преимущественно высокие, поросшие лесом и кустарником. Мелководье узкое, песчаное. На западе соединено с мелиоративными каналами.

Озеро подвергается сильной антропогенной нагрузке, так как используется для мелиорации земель, что приводит к загрязнению воды и береговой зоны, что доказывается высоким содержанием ионов меди и цинка; катионов аммония, калия, натрия, магния и кальция в воде; цинка в почве, превышающим ПДК, это оказывает негативное влияние на показатели

обмена веществ *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis*, что отражается на содержании РНК, ДНК и гликогена в гепатопанкреасе и мочевой кислоты в гемолимфе. В результате антропогенной деятельности ионы тяжелых металлов, попадая в почву, включаются в естественные циклы, нарушая нормальное функционирование почвенных ферментов, и как следствие, всей почвенной системы. Слабая каталазная и протеазная и высокая уреазная активность может свидетельствовать о высокой концентрации тяжелых металлов в почве. Увеличение содержания продуктов азотного обмена у двух видов моллюсков может быть вызвано высоким содержанием катионов аммония в воде.

Моллюски из озера Соковоровское Бешенковичского района характеризуются следующими показателями обмена веществ (таблицы 6, 7).

Таблица 6 – Показатели обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* из оз. Соковоровское Бешенковичского район ($M \pm m$)

| Показатель | Сезон года | | |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------|----------------------------|
| | Весна (n = 9) | Лето (n = 9) | Осень (n = 9) |
| Общий белок (гемолимфа) (мг/мл) | 33,17 ± 1,08 ¹ | 25,81 ± 0,61 | 32,63 ± 1,01 ¹ |
| Общий белок (гепатопанкреас) (мг/г) | 172 ± 6,1 ^{1,2} | 122 ± 4,9 | 207 ± 6,3 ¹ |
| ДНК (мг/г) | 1,95 ± 0,26 ² | 1,93 ± 0,16 | 2,39 ± 0,09 ¹ |
| РНК (мг/г) | 9,19 ± 0,25 ^{1,2} | 7,47 ± 0,49 | 6,39 ± 0,45 ¹ |
| Мочевая к-та (мкмоль/л) | 159,18 ± 3,17 ^{1,2} | 110,48 ± 4,16 | 91,52 ± 2,38 ¹ |
| Мочевина (ммоль/л) | 6,41 ± 0,05 ¹ | 7,62 ± 0,11 | 6,47 ± 0,08 ¹ |
| Глюкоза (ммоль/л) | 1,26 ± 0,043 ^{1,2} | 0,94 ± 0,096 | 0,62 ± 0,065 ¹ |
| Гликоген (мг/г) | 20,77 ± 0,265 ^{1,2} | 22,22 ± 0,331 | 24,31 ± 0,232 ¹ |
| ТБК-ПВ (мкмоль/г) | 5,13 ± 0,61 ¹ | 3,68 ± 0,31 | 4,53 ± 0,45 ¹ |
| Восстановленный глутатион(мкмоль/г) | 10,18 ± 0,24 ^{1,2} | 7,02 ± 0,07 | 9,56 ± 0,12 ¹ |
| Каталаза (мкмоль/мин/г) | 70,9 ± 2,3 ^{1,2} | 29,5 ± 1,3 | 57,3 ± 2,0 ¹ |

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; ²p < 0,05 по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков.

Таблица 7 – Показатели обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* из оз. Соковоровское Бешенковичского района ($M \pm m$)

| Показатель | Сезон года | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------|---------------------------|
| | Весна (n = 9) | Лето (n = 9) | Осень (n = 9) |
| Общий белок (гемолимфа) (мг/мл) | 13,58 ± 0,12 ¹ | 10,72 ± 0,27 | 14,62 ± 0,22 ¹ |
| Общий белок (гепатопанкреас) (мг/г) | 191 ± 5,6 ^{1,2} | 150 ± 9,7 | 235 ± 10,9 ¹ |
| ДНК (мг/г) | 1,63 ± 0,05 ^{1,2} | 1,79 ± 0,03 | 1,97 ± 0,05 ¹ |
| РНК (мг/г) | 8,83 ± 0,34 ² | 7,82 ± 0,26 | 6,53 ± 0,48 ¹ |
| Мочевая к-та (мкмоль/л) | 69,60 ± 1,37 ^{1,2} | 45,26 ± 0,57 | 26,23 ± 0,78 ¹ |
| Мочевина (ммоль/л) | 6,33 ± 0,07 ¹ | 8,04 ± 0,19 | 6,98 ± 0,06 ¹ |
| Глюкоза (ммоль/л) | 0,76 ± 0,088 ^{1,2} | 0,53 ± 0,027 | 0,34 ± 0,025 ¹ |
| Гликоген (мг/г) | 24,81 ± 0,214 ² | 27,13 ± 0,218 | 29,72 ± 0,512 |
| ТБК-ПВ (мкмоль/г) | 5,77 ± 0,36 ¹ | 3,36 ± 0,45 | 5,74 ± 0,23 ¹ |
| Восстановленный глутатион(мкмоль/г) | 10,06 ± 0,06 ^{1,2} | 7,47 ± 0,19 | 9,09 ± 0,05 ¹ |
| Каталаза (мкмоль/мин/г) | 72,5 ± 3,9 ^{1,2} | 30,7 ± 2,3 | 52,4 ± 2,4 ¹ |

Примечание: ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; ²p < 0,05 по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков.

Концентрация общего белка в гепатопанкреасе в весенний и осенний периоды сбора превышала значения в летний период сбора у обоих видов моллюсков в 1,3 и 1,6 раза. Содержание общего белка в гемолимфе *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* в весенний и осенний периоды сбора превышало 1,3 раза летние значения. Уровень мочевины у обоих видов моллюсков, собранных летом, превышал весенние и осенние значения в 1,2 раза. Содержание ДНК и гликогена в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* увеличивается от весны к осени в 1,2 раза. По сравнению с осенним периодом сбора у прудовика обыкновенного и катушки роговой повышено содержание РНК в весенний и летний периоды сбора в 1,2 раза. У

Planorbarius corneus и *Lymnaea stagnalis* повышена концентрация мочевой кислоты в весенний и летний периоды сбора в 1,7 и 1,2 и в 2,7 и 1,7 раз соответственно. У обоих видов моллюсков по сравнению с осенним периодом сбора повышено содержание глюкозы в весенний и летний периоды сбора в 2,0 и 1,5 раз соответственно. По сравнению с летним периодом сбора у *Planorbarius corneus* повышено содержание ТБК-ПВ и восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе в осенний и весенний периоды сбора в 1,4 и 1,2 раза и в 1,5 и 1,4 раза соответственно. У *Lymnaea stagnalis* по сравнению с летним периодом сбора повышено содержание ТБК-ПВ и восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе в весенний и осенний периоды сбора в 1,7 и 1,2 раза соответственно. По сравнению с летним периодом сбора у двух видов моллюсков повышена активность каталазы в весенний и осенний периоды сбора в 2,4 и 1,7 раз (таблицы 6, 7).

Данные особенности обмена веществ моллюсков сопряжены с экологическими характеристиками водоема. Озеро Соковорское находится в Бешенковичском районе Витебской области, примерно в 22 км на северо-запад от г.п. Бешенковичи, возле д. Соковоро. Относится к бассейну р. Туровлянка. Площадь зеркала около 0,1 км, длина 0,5 км, наибольшая ширина 0,26 км, длина береговой линии около 1,3 км. Берега низкие, поросшие кустарником. На юге озеро соединено с мелиоративными каналами. Недалеко от озера расположена ферма, которая недавно перестала функционировать. Вода имеет неприятный запах. Близость к населенным пунктам, ферме и бытовые стоки негативно сказываются на экологии озера. Вблизи от озера проходит автомагистраль Витебск–Минск.

Показатели обмена веществ моллюсков связаны с условиями обитания и степенью антропогенной нагрузки, оказывающей влияние на водоем. На экологическое состояние озера Соковорское и его прибрежной зоны неблагоприятное воздействие оказывают следующие факторы: близкое расположение населенного пункта, автомагистралей и фермы, что в первую очередь негативно отражается на обмене веществ исследуемых моллюсков, приводя к повышению значений ДНК и гликогена в гепатопанкреасе, мочевой кислоты и мочевины в гемолимфе. В пробах воды превышено ПДК ионов железа; катионов калия, натрия, магния, кальция; в почве – ионов меди и цинка. Из-за высокого содержания ионов меди и цинка в почве отмечается высокая активность уреазы и средняя активность каталазы.

Заключение. При исследовании показателей обмена веществ в гемолимфе и гепатопанкреасе двух видов моллюсков установлены следующие закономерности. Содержание общего белка в гемолимфе двух видов моллюсков снижено в летний период времени и повышено весной и осенью. Уровень мочевины в гемолимфе имеет обратную закономерность. Мочевая кислота в гемолимфе двух видов моллюсков закономерно повышается от осени к весне. Содержание РНК в тканях гепатопанкреаса и глюкозы в гемолимфе катушки роговой и прудовика обыкновенного закономерно снижается от весны к осени, а содержание ДНК и гликогена наоборот растет. Содержание общего белка в тканях гепатопанкреаса обоих видов моллюска уменьшается по сезонам в последовательности осень > весна > лето.

На активность антиоксидантной системы моллюсков влияют сезонные и антропогенные факторы окружающей среды. Содержание ТБК-ПВ, восстановленного глутатиона и активность каталазы в гепатопанкреасе моллюсков изменяются однотипно во всех исследуемых водоемах: самые низкие значения летом, весенние значения превышают летние примерно в 2 раза, а осенние – в 1,5 раза.

Таким образом, на основании полученных данных может быть создан алгоритм установления экологического состояния природных водоемов посредством анализа показателей азотного, углеводного обменов и антиоксидантной системы с использованием широко распространенных тест-организмов катушки роговой и прудовика обыкновенного.

Литература

1. Гусева, Т.В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова [и др.]. – М. : «Эколайн», 2000. – 87 с.
2. Забурдаева, Е.А. Методические аспекты использования данных биологического мониторинга по фитопланктону для биоиндикации качества вод в бассейне Волги / Е.А. Забурдаева, А.П. Левич // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2007. – № 1. – С. 195–211.

3. Романова, Е.М. Биоиндикация водоемов с использованием моллюсков / Е.М. Романова, О.А. Индирякова, А.П. Куранова // Медико-физиологические проблемы экологии человека: мат. всерос. науч. конф. – Ульяновск, 2007. – С. 25–27.
4. Чиркин, А.А. Липидный обмен / А.А. Чиркин [и др.] // Медицинская литература. – М., 2003. – 122 с.
5. Lowry, O.H. Protein measurement with Folin phenol reagent / O.H. Lowry // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, № 1. – P. 265–275.
6. Blober, G. Distribution of radioactivity between the acid-soluble pool and pools of RNA in the nuclear, nonsedimentable and ribosome fractions of rat liver after a single injection of labeled orotic acid / G. Blober, V.R. Potter // Biochem. Biophys. Acta – 1968. – Vol. 166. – P. 48–54.
7. Krisman, C.R. A method for the colometric estimation of glycogen with iodine / C.R. Krisman // Anal. Biochem. – 1962. – Vol. 4. – P. 17–23.
8. Uchiyama, M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test / M. Uchiyama, M. Mihara // Analit. Biochem. – 1987. – Vol. 86. – P. 271–278.
9. Королюк, М.А. Метод определения активности каталазы / М.А. Королюк // Лабораторное дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
10. Beutler, E. Red cell metabolism a manual of biochemical methods / E. Beutler. – Orlando : Grune&Stration, 1990. – P. 131–134.
11. Гальцева, В.В. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных систем / В.В. Гальцева, В.В. Дмитриев. – СПб., 2007. – 364 с.

Витебский государственный
университет им. П.М. Машерова

Поступила в редакцию 13.01.2020