

УДК 594.38:577.1(476.5)

Особенности обмена веществ *Lymnaea stagnalis* в зависимости от сезона года и местообитания

О.М. БАЛАЕВА-ТИХОМИРОВА, Е.И. КАЦНЕЛЬСОН

Lymnaea stagnalis по комплексу критериев относят к перспективным объектам используемым в биоиндикации при оценке состояния водных экосистем. Изучение структурно-функциональных характеристик повсеместно распространенного вида легочных пресноводных моллюсков в зависимости от сезонных и антропогенных факторов среды обитания позволит расширить и дополнить имеющиеся данные о возможности их использования в биомониторинге в качестве тест-систем.

Ключевые слова: легочные моллюски, *Lymnaea stagnalis*, азотный обмен, углеводный обмен, антиоксидантная система, сезон года, местообитание.

Lymnaea stagnalis is classified by a set of criteria as perspective objects used in bioindication when assessing the state of aquatic ecosystems. The study of the structural and functional characteristics of the ubiquitous type of pulmonary freshwater mollusks depending on the seasonal and anthropogenic factors of the habitat will expand and supplement the available data on the possibility of using them in biomonitoring as test systems.

Keywords: pulmonary mollusks, *Lymnaea stagnalis*, nitrogen metabolism, carbohydrate metabolism, antioxidant system, season of the year, habitat.

Антропогенная нагрузка оказывает неблагоприятное воздействие на процесс функционирования водных экосистем. Пресноводные моллюски являются важнейшей составляющей большинства водных биоценозов и применяются для биоиндикации загрязнения окружающей среды. Большая численность и широкая распространенность в различных географических районах, легкость сбора и идентификации, короткий жизненный цикл, высокая чувствительность к загрязнению позволяют использовать легочных пресноводных моллюсков в практике пассивного и активного биомониторинга [1], [2].

Lymnaea stagnalis широко распространенный вид легочных пресноводных моллюсков, который эффективно используется в качестве тест-организмов для оценки биоразнообразия водной фауны Беларуси и биоэкологических исследований путем изучения структурно-физиологических показателей моллюсков как компонента биоиндикации водоемов. Актуальность данного исследования заключается в установлении закономерностей изменений азотного, углеводного обменов и активности антиоксидантной системы в тканях *Lymnaea stagnalis* в зависимости от факторов окружающей среды и степени антропогенной нагрузки, связанной с местообитанием данного вида как критерием для оценки условий и экологической характеристики природных водоёмов [3], [4].

Цель – изучить влияние сезонных и антропогенных факторов среды обитания на метаболизм *Lymnaea stagnalis*.

Материал и методы. Опыты поставлены на особях *Lymnaea stagnalis* (прудовик обыкновенный). Моллюски собирались весной (апрель-май), летом (июль) и осенью (сентябрь-октябрь) из водоемов шести районов Витебской области (таблица 1). В каждой исследовательской подгруппе содержалось по 9 моллюсков.

Таблица 1 – Места отбора моллюсков

Район сбора моллюсков	Место сбора	Название водоема
Витебский р-н	г. Витебск	р. Витьба
Дубровенский р-н	д. Ляды	оз. Вордовье
Бешенковичский р-н	д. Сокорово	оз. Малое
Ушачский р-н	д. Дубровка	оз. Дубровское
Шумилинский р-н	а/г Башни	оз. Будовесть
Сенненский р-н	г. Сенно	оз. Сенненское

Определение показателей гемолимфы проводили стандартными биохимическими реакциями с использованием наборов реагентов НТПК «Анализ X» (общий белок, мочевиная кислота), «Мочевина-01-Витал» (мочевина) [5]. Уровень глюкозы в гемолимфе выявляли глюкозооксидазным методом наборами фирмы Диакон Диасис [5]. **Определение концентрации белка** (мг/г ткани) **проводили по методу Лоури** [6]. Содержание ДНК и РНК (мг/г ткани) устанавливали по методу Blober и Potter [7]. Гликоген определяли методом Krisman [8]. Для количественного установления продуктов перекисного окисления липидов использовали тест с 2-тиобарбитуровой кислотой [9]. Активность каталазы (1.11.1.6) выявляли по реакции с молибдатом аммония [10]. Определение количества восстановленного глутатиона проводили по реакции взаимодействия GSH с ДТНБК (5,5'-дитио-бис-2-нитробензойной кислотой) с образованием окрашенного в желтый цвет аниона 2-нитро-5-тиобензоата [11].

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

Результаты исследования. Содержание общего белка в гемолимфе легочных пресноводных моллюсков зависит от сезона года. Установлено, что наибольшее содержание данного показателя фиксируется в весенний период, наименьшее значения – в летний период сбора моллюсков (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание общего белка (мг/мл) в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	14,03 ± 0,22 ¹	11,35 ± 0,16	15,87 ± 0,25 ¹
Дубровенский р-н	13,14 ± 0,33 ¹	10,05 ± 0,18	14,14 ± 0,17 ¹
Бешенковичский р-н	13,58 ± 0,12 ¹	10,72 ± 0,27	14,62 ± 0,22 ¹
Ушачский р-н	13,59 ± 0,11 ¹	9,95 ± 0,65	14,35 ± 0,19 ¹
Шумилинский р-н	14,48 ± 0,28 ¹	11,80 ± 0,30	14,93 ± 0,24 ¹
Сенненский р-н	14,54 ± 0,17 ¹	10,24 ± 0,15	15,16 ± 0,21 ¹

Примечание – ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков.

Содержание общего белка в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* имеет общую закономерность во всех исследованных районах: концентрация белка снижается в летний период времени и повышается весной и осенью, что связано с активацией обмена веществ, в благоприятный для жизнедеятельности, менее стрессовый летний период времени.

Концентрация мочевины в гемолимфе связана со временем сбора *Lymnaea stagnalis*. Установлено, что наибольшее содержание данного показателя фиксируется в летний период, наименьшее значения – в весенний период сбора моллюсков (таблица 3). Мочевина, основной продукт распада белков, синтезируемый печенью из аммиака.

Таблица 3 – Содержание мочевины (ммоль/л) в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	5,93 ± 0,17 ¹	7,14 ± 0,11	6,05 ± 0,03 ¹
Дубровенский р-н	6,37 ± 0,12 ¹	8,22 ± 0,12	6,55 ± 0,05 ¹
Бешенковичский р-н	6,33 ± 0,07 ¹	8,04 ± 0,19	6,98 ± 0,06 ¹
Ушачский р-н	6,15 ± 0,14 ¹	7,42 ± 0,13	6,45 ± 0,11 ¹
Шумилинский р-н	6,87 ± 0,16 ¹	7,86 ± 0,11	6,65 ± 0,18 ¹
Сенненский р-н	6,95 ± 0,16 ¹	8,94 ± 0,13	6,78 ± 0,04 ¹

Примечание – ¹p < 0,05 по сравнению с летним периодом сбора моллюсков.

Концентрация мочевины в гемолимфе моллюсков также зависит от рациона питания. *Lymnaea stagnalis* питаются преимущественно осадочным детритом, который представляет собой мелкие органические частицы, состоящие из остатков, разложившихся животных, растений вместе с содержащимися в них бактериями, осевшие на дно водоема или взвешенные в толще воды. При увеличении в составе детрита белкового компонента содержание мочевины возрастает, при увеличении растительного компонента – уровень мочевины снижается. Содержание органического детрита изменяется по сезонам года. В весенний и осенние периоды преобладает растительный компонент, в летнее время в биогенных остатках преобладает животный компонент, поэтому уровень мочевины в гемолимфе легочных моллюсков в летом выше, чем весной и осенью.

Содержание мочевой кислоты в гемолимфе имеет сезонный характер изменений. Установлено, что наибольшее содержание данного показателя фиксируется в весенний период, наименьшее значения – в осенний период сбора моллюсков (таблица 4). Уровень мочевой кислоты говорит о состоянии здоровья исследуемого организма. Сдвиги содержания данного продукта обмена в крови как в сторону повышения, как и в сторону понижения, зависят от двух процессов: образования кислоты в печени и времени выведения ее, которое могут изменяться вследствие различных неблагоприятных внешних воздействиях факторов окружающей среды.

Таблица 4 – Содержание мочевой кислоты (мкмоль/л) в гемолимфе прудовика обыкновенного ($M \pm m$)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	74,47 ± 1,48 ^{1,2}	45,56 ± 2,33	25,46 ± 0,64 ¹
Дубровенский р-н	77,61 ± 1,02 ^{1,2}	54,58 ± 1,74	35,31 ± 0,49 ¹
Бешенковичский р-н	69,60 ± 1,37 ^{1,2}	45,26 ± 0,57	26,23 ± 0,78 ¹
Ушачский р-н	72,58 ± 1,30 ^{1,2}	48,04 ± 2,02	28,75 ± 0,57 ¹
Шумилинский р-н	74,82 ± 1,34 ^{1,2}	50,12 ± 1,60	30,36 ± 0,76 ¹
Сенненский р-н	77,85 ± 1,16 ^{1,2}	55,38 ± 1,46	36,25 ± 0,38 ¹

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

По сравнению с летним периодом сбора у прудовика обыкновенного повышено содержание мочевой кислоты в весенний период в 1,5 раза у особей из всех исследуемых районов. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках понижено содержание мочевой кислоты в осенний период в 1,8 раза Витебский район, 1,6 раза Дубровенский и Сенненский районы, 1,7 раза Бешенковичский, Ушачский, Шумилинский районы. При сравнении с осенним периодом содержание мочевой кислоты в гемолимфе прудовика обыкновенного в весенний период статистически значимые отличия получены в Витебском, и Бешенковичском районах в 2,8 раза, Дубровенском и Сенненском районах в 2,2 раза, Ушачском и Шумилинском – в 2,5 раза. Обнаружено выраженное увеличение концентрации мочевой кислоты в гемолимфе по сравнению с осенним периодом сбора к весеннему. Положительное действие гиперурикемии, высокий уровень пуринового продукта обмена в крови, благоприятно влияет на организм.

Установлено, что содержание РНК в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного зависит от сезона года, наибольшее содержание данного показателя отмечается в весенний период, наименьшее значения – в осенний период сбора моллюсков (таблица 5). Содержание РНК весной оказалось наиболее низким у прудовиков, собранных в Сенненском районе.

Таблица 5 – Содержание РНК (мг/г) в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	9,07 ± 0,42 ^{1,2}	7,06 ± 0,16	5,74 ± 0,24 ¹
Дубровенский р-н	10,33 ± 0,36 ²	8,46 ± 0,27	6,77 ± 0,25 ¹
Бешенковичский р-н	8,83 ± 0,34 ²	7,82 ± 0,26	6,53 ± 0,48 ¹
Ушачский р-н	10,17 ± 0,30 ²	9,18 ± 0,30	7,28 ± 0,44 ¹
Шумилинский р-н	9,05 ± 0,41 ¹	6,73 ± 0,23	7,46 ± 0,28 ¹
Сенненский р-н	8,04 ± 0,21 ^{1,2}	7,37 ± 0,18	5,89 ± 0,34 ¹

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

Из таблицы 5 видно, что по сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышено содержание РНК в весенний период в 1,3 раза в Витебском, Дубровенском и Шумилинском районах. Аналогичные изменения зафиксированы при сравнении летнего периода сбора моллюсков с осенним. По сравнению с осенним периодом содержание РНК прудовика обыкновенного в весенний период статистически значимые отличия получены в 1,6 раза Витебском, Дубровенском районах и в 1,4 раза в Ушачском, Сенненском районах. Высокое содержание РНК весной может свидетельствовать об усиленном биосинтезе белков в клетках тканей гепатопанкреаса после выхода из гипобиоза.

Содержание ДНК в тканях гепатопанкреаса имело противоположную динамику по сравнению с сезонной динамикой РНК. Самое низкое содержание ДНК в тканях гепатопанкреаса *Lymnaea stagnalis* было отмечено в весенний период (таблица 6).

Таблица 6 – Содержание ДНК (мг/г) в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	1,74 ± 0,04 ^{1,2}	2,09 ± 0,04	2,49 ± 0,03 ¹
Дубровенский р-н	1,13 ± 0,03 ^{1,2}	1,21 ± 0,02	1,43 ± 0,03 ¹
Бешенковичский р-н	1,63 ± 0,05 ^{1,2}	1,79 ± 0,03	1,97 ± 0,05 ¹
Ушачский р-н	1,40 ± 0,07 ^{1,2}	1,85 ± 0,05	1,93 ± 0,03 ¹
Шумилинский р-н	1,96 ± 0,04 ^{1,2}	2,02 ± 0,05	2,44 ± 0,08 ¹
Сенненский р-н	1,54 ± 0,03 ^{1,2}	1,72 ± 0,04	2,07 ± 0,06 ¹

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

В последующие сезоны происходило постепенное увеличение содержания ДНК в клетках гепатопанкреаса моллюсков. Такая динамика связана с утратой небольшого количества клеток в процессе зимнего гипобиоза. В этом случае весеннее повышение содержания РНК в клетках гепатопанкреаса может являться приспособительной реакцией для поддержания синтеза белков в рамках белкового гомеостаза организма моллюсков.

Наибольшее содержание общего белка в гемолимфе установлено в осенний период, наименьшее – в летний период сбора моллюсков (таблица 7).

Таблица 7 – Содержание общего белка (мг/г) в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	271 ± 7,6 ^{1,2}	186 ± 8,8	323 ± 21,7 ¹
Дубровенский р-н	196 ± 4,7 ^{1,2}	120 ± 8,7	228 ± 7,8 ¹
Бешенковичский р-н	191 ± 5,6 ^{1,2}	150 ± 9,7	235 ± 10,9 ¹
Ушачский р-н	184 ± 3,2 ^{1,2}	131 ± 4,8	169 ± 9,2 ¹
Шумилинский р-н	164 ± 6,0 ^{1,2}	100 ± 9,3	203 ± 4,3 ¹
Сенненский р-н	203 ± 6,7 ^{1,2}	160 ± 5,7	263 ± 6,5 ¹

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

По сравнению с летним периодом сбора в гепатопанкреасе моллюсков повышено содержание общего белка в весенний период в 1,5 раза Витебском, Дубровенско, Ушачском, Шумилинский районах. По сравнению с летним периодом сбора у моллюсков повышено содержание общего белка в осенний период в 1,7 раза Витебский район, 1,9 раза Дубровенский район, 1,6 раза Бешенковичский и Сенненский район, 2,03 раза Шумилинский район.

Содержание глюкозы в гемолимфе прудовика обыкновенного зависит от сезона сбора *Lymnaea stagnalis*. Установлено, что наибольшее содержание данного показателя отмечается в весенний период, наименьшее значения – в осенний период сбора моллюсков (таблица 8).

Таблица 8 – Содержание глюкозы (ммоль/л) в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	0,93 ± 0,006 ^{1,2}	0,60 ± 0,035	0,41 ± 0,037 ¹
Дубровенский р-н	0,82 ± 0,012 ^{1,2}	0,51 ± 0,042	0,36 ± 0,026 ¹
Бешенковичский р-н	0,76 ± 0,088 ^{1,2}	0,53 ± 0,027	0,34 ± 0,025 ¹
Ушачский р-н	0,70 ± 0,056 ^{1,2}	0,55 ± 0,047	0,37 ± 0,012 ¹
Шумилинский р-н	1,05 ± 0,044 ^{1,2}	0,80 ± 0,034	0,54 ± 0,045 ¹
Сенненский р-н	0,88 ± 0,093 ^{1,2}	0,64 ± 0,034	0,40 ± 0,056 ¹

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

По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышено содержание глюкозы в весенний период в 1,6 раза в Витебском и Дубровенском районах, в 1,3 раза в Бешенковичском, Ушачском, Шумилинском и Сенненском районах. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках понижено содержание глюкозы в осенний период в среднем в 1,5 раза во всех исследуемых районах. При сравнении с осенним периодом содержание глюкозы у прудовика обыкновенного в весенний период статистически значимые отличия получены в 2,3 раза в Витебском, Дубровенском, Бешенковичском, Сенненском районах и в в 1,9 раза в Ушачском и Шумилинском районах (таблица 8).

Концентрация гликогена в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* имела противоположную динамику по сравнению с сезонной динамикой глюкозы. Установлено, что наибольшее содержание данного показателя отмечается в осенний период, наименьшее значение – в весенний период сбора моллюсков (таблица 9) и имеет обратную динамику по сравнению с содержанием глюкозы в гемолимфе.

Таблица 9 – Содержание гликогена (мг/г) в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	23,11 ± 0,174 ²	26,21 ± 0,182	27,42 ± 0,612
Дубровенский р-н	24,66 ± 0,287 ²	26,98 ± 0,169	28,15 ± 0,481
Бешенковичский р-н	24,81 ± 0,214 ²	27,13 ± 0,218	29,72 ± 0,512
Ушачский р-н	24,46 ± 0,186 ²	27,09 ± 0,281	28,27 ± 0,544
Шумилинский р-н	21,35 ± 0,344 ²	24,32 ± 0,261	27,01 ± 0,358
Сенненский р-н	23,74 ± 0,342 ²	26,15 ± 0,138	27,22 ± 0,282

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

Статистически значимых отличий в содержании гликогена в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* не обнаружено при сравнении содержания гликогена в летний сезон сбора с весенним и осенним сезонами. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у прудовика обыкновенного в весенний период повышено в 1,2 раза во всех исследуемых районах (таблица 9).

ТБК-ПВ является показателем по содержанию которого судят о степени развития окислительного стресса. Отмечено, самые низкие показатели зафиксированы в летнее время, что связано с наиболее оптимальными условиями для жизнедеятельности моллюсков (таблица 10).

Таблица 10 – Содержание ТБК-ПВ (мкмоль/г) в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	9,32 ± 0,47 ^{1,2}	3,56 ± 0,24	5,18 ± 0,26 ¹
Дубровенский р-н	5,34 ± 0,21 ¹	2,67 ± 0,18	4,22 ± 0,34 ¹
Бешенковичский р-н	5,77 ± 0,36 ¹	3,36 ± 0,45	5,74 ± 0,23 ¹
Ушачский р-н	7,42 ± 0,35 ^{1,2}	3,83 ± 0,50	5,37 ± 0,41 ¹
Шумилинский р-н	9,21 ± 0,55 ^{1,2}	3,42 ± 0,26	5,30 ± 0,38 ¹
Сенненский р-н	5,86 ± 0,28 ¹	2,87 ± 0,27	4,32 ± 0,26 ¹

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

По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышено содержание ТБК-ПВ в весенний период в 2,6 раза Витебский и Шумилинский районы, 2 раза Дубровенский и Ушачский, Сенненский районы, 1,72 раз Бешенковичский район. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышено содержание ТБК-ПВ в осенний период в среднем 1,5 во всех исследованных районах. По сравнению с осенним периодом содержание ТБК-ПВ *Lymnaea stagnalis* с весенним периодом статистически значимые отличия получены в Витебском районе в 1,80 раза, Шумилинском районе 1,55 раза, в Ушачском 1,38 раза.

По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность каталазы в весенний период в 2,4 раза во всех исследуемых районах (таблица 11). По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность каталазы в осенний период в 1,7 районах исследования. Выявлено, что активность каталазы выше весной, что связано с уси-

лением неблагоприятного воздействия факторов внешней среды обитания и возрастанием окислительного стресса. Динамика изменений активности каталазы уменьшается в последовательности весна > осень > лето, что свидетельствует о повышении активности антиоксидантной системы в весеннее время года из-за необходимости в утилизации большего количества перексид водорода, образующегося при активации окислительных процессов.

Таблица 11 – Активность каталазы (мкмоль/мин/г) в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	88,4 ± 2,3 ^{1,2}	41,4 ± 1,3	56,6 ± 2,6 ¹
Дубровенский р-н	70,2 ± 1,6 ^{1,2}	29,6 ± 1,7	50,6 ± 2,5 ¹
Бешенковичский р-н	72,5 ± 3,9 ^{1,2}	30,7 ± 2,3	52,4 ± 2,4 ¹
Ушачский р-н	80,8 ± 4,4 ^{1,2}	33,2 ± 1,8	54,6 ± 2,5 ¹
Шумилинский р-н	74,7 ± 4,1 ^{1,2}	31,1 ± 1,5	52,5 ± 3,0 ¹
Сенненский р-н	70,4 ± 1,8 ^{1,2}	29,4 ± 1,4	50,7 ± 2,3 ¹

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

В летний период сбора у моллюсков содержание восстановленного глутатиона в 1,3 раза меньше, чем весной и осенью. Самое большое значение зафиксировано в Ушачском и Бешенковичском районах, это в 1,3 раз больше, чем в Шумилинском районе весной (таблица 12).

Таблица 12 – Содержание восстановленного глутатиона (мкмоль/г) в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
Витебский р-н	11,64 ± 0,13 ^{1,2}	8,04 ± 0,05	9,12 ± 0,08 ¹
Дубровенский р-н	10,12 ± 0,16 ^{1,2}	7,56 ± 0,17	9,26 ± 0,06 ¹
Бешенковичский р-н	10,06 ± 0,06 ^{1,2}	7,47 ± 0,19	9,09 ± 0,05 ¹
Ушачский р-н	11,23 ± 0,03 ^{1,2}	8,16 ± 0,23	9,36 ± 0,06 ¹
Шумилинский р-н	10,32 ± 0,23 ^{1,2}	8,34 ± 0,16	9,18 ± 0,05 ¹
Сенненский р-н	10,48 ± 0,08 ^{1,2}	7,32 ± 0,07	8,78 ± 0,13 ¹

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

Установлено, содержание восстановленного глутатиона в летнее время имеет самые низкие показатели, т. к. в это время степень неблагоприятного воздействия факторов окружающей среды минимальна. Показатели в весеннее и осеннее время превышают в 1,5 раза значения в летнее время сбора. Однако весной вследствие низкой температуры и недостатка пищи, моллюски испытывают стресс и значение показателей выше, чем в осеннее время сбора.

Закключение. Содержание общего белка в гемолимфе прудовика обыкновенного снижено в летний период времени и повышено весной и осенью. Содержание мочевины имеет обратную закономерность: летом ее содержание в гемолимфе повышается, а весной и осенью снижается. Мочевая кислота в гемолимфе прудовика обыкновенного закономерно повышается от осени к весне. Данные изменения связаны с изменением состава кормовой базы, физической и физиологической активности организмов и внешнего воздействия факторов окружающей среды. Увеличение концентрации мочевой кислоты в гемолимфе может свидетельствовать об активации процессов катаболизма нуклеиновых кислот и нуклеотидов, обусловленных воздействием неблагоприятных условий внешней среды в весенний сезон. Содержание РНК в тканях гепатопанкреаса прудовика обыкновенного закономерно снижается от весны к осени. Содержание ДНК в тканях гепатопанкреаса закономерно повышается от весны к осени. Содержание общего белка в тканях гепатопанкреаса прудовика обыкновенного уменьшается по сезонам в последовательности осень > весна > лето.

У *Lymnaea stagnalis* гепатопанкреас является источником глюкозы гемолимфы. При воздействии сезонных и антропогенных факторов окружающей среды в организме моллюсков интенсивнее протекают обменные процессы, о чем свидетельствует сокращение резервов гликогена. Отмечена следующая динамика: концентрация глюкозы в гемолимфе уменьшается в последовательности весна > лето > осень, а гликогена в обратной последовательности осень > лето > весна. Воздействие неблагоприятных факторов в весенний сезон года стимулирует усиление мобилизации углеводов гепатопанкреаса, мышц и других органов моллюска, что может свидетельствовать о повышении защитно-компенсаторных способностей организма моллюсков в ответ на отравление.

Уровни ТБК-ПВ в гепатопанкреасе моллюсков изменяются однотипно во всех исследуемых водоемах: самые низкие значения летом, весенние значения превышают летний уровень примерно в 2 раза, а осенние – в среднем в 1,5 раза. При исследовании активности каталазы в гепатопанкреасе моллюсков выявлена аналогичная сезонная динамика: весной активность фермента превышает летний уровень в среднем в 2,5 раза, а осенью – в 1,75 раза. Содержание восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе моллюсков изменялось аналогично, но с меньшими различиями в сезонной динамике: весной уровень показателя превышал летний уровень в среднем в 1,5 раза, а осенью – в 1,25 раза.

Таким образом, сезонные и антропогенные изменения показателей углеводного, азотного обменов и антиоксидантной активности могут служить мониторинговыми параметрами экологического благополучия водных сред обитания легочных пресноводных моллюсков, поскольку они коррелируют с фундаментальными показателями клеточного состава тканей гидробионтов – содержанием нуклеиновых кислот.

Литература

1. Шевцова, С.Н. Влияние сульфата меди на рост, выживаемость и уровень экспрессии металлотioneинов у пресноводного моллюска *Lymnaea stagnalis* / С.Н. Шевцова, А.С. Бабенко, С.Е. Дромашко // Труды БГУ. – 2011. – Т. 6, ч. 1. – С. 152–162.
2. Биохимия филогенеза и онтогенеза: учеб. пособие / А.А. Чиркин, Е.О. Данченко, С.Б. Бокуть. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2012. – 288 с.
3. Стадниченко, А.П. Влияние трематодной инвазии на содержание гемоцианина в гемолимфе прудовика (*Gastropoda : Pulmonata : Lymnaeidae*) / А.П. Стадниченко [и др.] // Паразитология. – 1999. – Т. 33, № 2. – С. 125–128.
4. Дромашко, С.Е. Биотестирование – составной элемент оценки состояния окружающей среды: учебно-методическое пособие / С.Е. Дромашко, С.Н. Шевцова. – Минск : ИПНК, 2012. – 82 с.
5. Чиркин, А.А. Липидный обмен / А.А. Чиркин [и др.] // Медицинская литература. – М., 2003. – 122 с.
6. Lowry, O.H Protein measurement with Folin phenol reagent / O.H Lowry // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, № 1. – P. 265–275.
7. 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.
8. Krisman, C.R. A method for the colometric estimation of glycogen with iodine / C.R. Krisman // Analit. biochem. – 1962. – Vol. 4. – P. 17–23.
9. Uchiyama, M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test / M. Uchiyama, M. Mihara // Analit. biochem. – 1987. – Vol. 86. – P. 271–278.
10. Королюк, М.А. Метод определения активности каталазы / М.А. Королюк // Лабораторное дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
11. Beutler, E. Red cell metabolism a manual of biochemical methods / E. Beutler. – Orlando : Grune & Stratton, 1990. – P.131–134.