

Особенности обмена веществ *Planorbarius corneus* в зависимости от сезона года и местообитания

О.М. Балаева-Тихомирова, Е.И. Кацнельсон

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

Planorbarius corneus является удобным тест-организмом для биоэкологических и биохимических исследований путем изучения влияния факторов окружающей среды и степени антропогенной нагрузки на обменные процессы.

Цель статьи – изучить влияние сезонных и антропогенных факторов окружающей среды на метаболизм *Planorbarius corneus*.

Материал и методы. Материалом исследования были легочные пресноводные моллюски *Planorbarius corneus* 162 особи. Моллюски собирались весной (апрель-май), летом (июль) и осенью (сентябрь-октябрь) из водоемов шести районов Витебской области. В гемолимфе установили концентрацию мочевины, мочевой кислоты, общего белка, глюкозы; в гепатопанкреасе определяли содержание гликогена, ТВК-позитивных веществ, восстановленного глутатиона, общего белка, ДНК, РНК, активность каталазы. Все исследованные показатели определялись спектрофотометрическими методами.

Результаты и их обсуждение. На метаболизм *Planorbarius corneus* оказывают влияние сезонные и антропогенные факторы окружающей среды. Азотный обмен характеризуется изменениями концентраций исследуемых веществ. Содержание общего белка в гемолимфе и гепатопанкреасе снижено в летний период времени и повышено весной и осенью. Концентрация мочевины имеет обратную закономерность: летом ее содержание в гемолимфе повышается, а весной и осенью снижается. Содержание РНК в гепатопанкреасе и концентрация мочевой кислоты в гемолимфе закономерно снижаются от весны к осени, а концентрация ДНК в гепатопанкреасе имеет обратную динамику и повышается.

В обмене углеводов зафиксированы следующие закономерности: концентрация глюкозы в гемолимфе уменьшается, а содержание гликогена в гепатопанкреасе увеличивается от весны к осени. Показатели антиоксидантной системы имеют однотипный характер изменений в течение года. Отмечены увеличение концентраций ТВК-позитивных веществ, восстановленного глутатиона и повышение активности каталазы в последовательности лето → осень → весна.

На обмен веществ *Planorbarius corneus* не оказывало значительного влияния местообитание, характер зафиксированных изменений концентрации исследуемых веществ имел однотипную закономерность во всех исследуемых районах.

Заключение. Таким образом, на основании полученных данных может быть создан алгоритм установления экологического состояния природных водоемов посредством анализа простых показателей азотного, углеводного обменов и активности антиоксидантной системы по двум параметрам – сезону года и местообитанию с использованием в качестве тест-организма широко распространенного вида легочных пресноводных моллюсков – *Planorbarius corneus*.

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

Features of the Metabolism of *Planorbarius corneus* Depending on the Season and Habitat

O.M. Balaeva-Tikhomirova, E.I. Katsnelson

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

Planorbarius corneus is a convenient test-organism for bioecological and biochemical research by studying the influence of environmental factors and the degree of anthropogenic load on metabolic processes.

The aim of the study was to study the influence of seasonal and anthropogenic environmental factors on the metabolism of *Planorbarius corneus*.

Material and methods. The material of the study was pulmonary freshwater mollusks *Planorbarius corneus*, 162 individuals. The shellfish were gathered in spring (April-May), in summer (July) and in autumn (September-October) from reservoirs of six districts of Vitebsk region. In hemolymph, the concentration of urea, uric acid, total protein, glucose was established; in the hepatopancreas, the content of glycogen, TBA-positive substances, reduced glutathione, total protein, DNA, RNA, catalase activity was determined. All the studied parameters were determined by spectrophotometric methods.

Findings and its discussion. The metabolism of *Planorbarius corneus* is influenced by seasonal and anthropogenic factors of the environment. Nitrogen metabolism is characterized by changes in the concentrations of the substances under study. The content of total protein in hemolymph and hepatopancreas decreases in summer and increases in spring and autumn. The concentration of

urea is reverse: in summer its content in the hemolymph rises, and in spring and autumn it decreases. The content of RNA in the hepatopancreas and the concentration of uric acid in the hemolymph naturally decrease from spring to autumn, and the concentration of DNA in the hepatopancreas has a reverse dynamics and increases.

In the metabolism of carbohydrates the following regularities are fixed: glucose concentration in the hemolymph decreases, and the glycogen content in the hepatopancreas increases from spring to autumn. Indicators of the antioxidant system have the same type of changes throughout the year. An increase in the concentrations of TCE-positive substances, reduced glutathione and an increase in catalase activity in the summer → autumn → spring sequence were noted.

The metabolism of *Planorbarius corneus* had no significant effect on habitat, the nature of the recorded changes in the concentration of the substances under study had the same regularity in all the study areas.

Conclusion. Thus, based on the data obtained, an algorithm for establishing the ecological state of natural reservoirs can be created by analyzing the simple parameters of nitrogen, carbohydrate metabolism and antioxidant activity in two ways: the season of the year and the habitat using a widely distributed type of pulmonary freshwater mollusks – *Planorbarius corneus*.

Key words: pulmonary mollusks, *Planorbarius corneus*, nitrogen exchange, carbohydrate metabolism, antioxidant system, season of the year, habitat.

В последние десятилетия активно осуществляется поиск альтернативных кроликам, крысам, мышам живых организмов, опыты на которых целесообразны по экономическим и, частично, по этическим соображениям. Это соответствует мировым тенденциям трансформации научных исследований на более простых живых системах, но обладающих близким метаболизмом к высшим животным и отличающихся экономичностью и «относительной» биоэтикой. Целесообразным является использование широко распространенного вида легочных пресноводных моллюсков *Planorbarius corneus* (катушка роговая) [1; 2].

Planorbarius corneus эффективно используется 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. Актуальность данного исследования заключается в установлении закономерностей между влиянием сезона года и местообитания на показатели азотного, углеводного обменов и антиоксидантной системы у *Planorbarius corneus* для мониторинга экологического состояния природных водоемов Витебской области [3; 4].

Цель статьи – изучить влияние сезонных и антропогенных факторов окружающей среды на метаболизм *Planorbarius corneus*.

Материал и методы. Опыты поставлены на 162 особях *Planorbarius corneus* (роговая катушка). Моллюски собирались весной (апрель-май), летом (июль) и осенью (сентябрь-октябрь) из водоемов шести районов Витебской области (табл. 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. Будовесь
Сенненский р-н	г. Сенно	оз. Сенненское

Определение показателей гемолимфы проводили с использованием наборов реагентов НТПК «Анализ Х» (общий белок, мочевая кислота), «Мочевина-01-Витал» (мочевина) [5]. Концентрацию глюкозы в гемолимфе устанавливали 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) выявляли по методу Vlober и Potter [7]. Гликоген определяли методом Krisman [8]. Для количественного установления продуктов перекисного окисления липидов (ТБК-положительных веществ (ТБК-ПВ) 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'-дителио-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 2003, STATISTICA 6.0.

Результаты и их обсуждение. Содержание общего белка в гемолимфе легочных пресноводных моллюсков зависит от сезона года. Установлено, что наибольшее содержание данного показателя фиксируется в весенний период, наименьшее значение – в летний период сбора моллюсков (табл. 2).

Таблица 2

Содержание общего белка (мг/г) в гемолимфе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	37,04±0,52 ¹	24,15±0,32	33,31±0,46 ¹
Дубровенский р-н	33,40±0,63 ¹	25,02±0,44	31,24±0,65 ¹
Бешенковичский р-н	33,17±1,08 ¹	25,81±0,61	32,63±1,01 ¹
Ушачский р-н	35,36±0,95 ¹	23,55±0,83	35,14±0,60 ¹
Шумилинский р-н	39,34±0,61 ¹	26,67±0,66	36,35±1,62 ¹
Сенненский р-н	36,62±1,70 ¹	23,72±0,45	31,38±0,57 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 катушки роговой отмечено повышение содержания общего белка в весенний период в 1,5 раза в Витебском, Ушачском, Шумилинском и Сенненском районах. Такие же закономерности сохраняются при сравнении летнего и осеннего периодов сбора моллюсков.

Содержание общего белка в гемолимфе *Planorbarius corneus* имеет следующую закономерность – концентрация белка снижается в летний сезон 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 *Planorbarius corneus*. Наибольшее содержание данного показателя отмечено в летний период, наименьшее значение – в весенний период сбора моллюсков (табл. 3). Мочевина – основной продукт распада белков, вырабатываемый печенью из аммиака. Повышение уровня мочевины в гемолимфе происходит в результате увеличения активности моллюсков.

Таблица 3

Содержание мочевины (ммоль/л) в гемолимфе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	6,54±0,06 ¹	8,15±0,08	6,02±0,06 ¹
Дубровенский р-н	6,34±0,07 ¹	7,35±0,04	6,34±0,06 ¹
Бешенковичский р-н	6,41±0,05 ¹	7,62±0,11	6,47±0,08 ¹
Ушачский р-н	6,32±0,06 ¹	7,43±0,12	6,40±0,11 ¹
Шумилинский р-н	6,25±0,06 ¹	7,72±0,11	6,43±0,10 ¹
Сенненский р-н	6,45±0,10 ¹	7,94±0,10	6,95±0,06 ¹

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

Выявлено снижение содержания мочевины у роговой катушки, собранной в осенний период года, по сравнению с летним в среднем 1,3 раза во всех исследуемых районах. При сравнении осеннего и весеннего периодов сбора моллюсков статистически значимых различий мочевины не зафиксировано.

Уровень мочевины в гемолимфе *Planorbarius corneus* зависит от рациона питания. Катушка роговая питается 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 осенний периоды преобладает растительный компонент, в летнее время в биогенных остатках преобладает животный компонент, поэтому уровень мочевины в гемолимфе катушки роговой 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 значение – в осенний период сбора моллюсков (табл. 4).

Таблица 4

Содержание мочевой кислоты (мкмоль/л) в гемолимфе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	137,99±5,23 ^{1,2}	119,56±3,45	92,14±2,02 ¹
Дубровенский р-н	149,28±1,68 ^{1,2}	129,66±4,45	82,46±2,16 ¹
Бешенковичский р-н	159,18±3,17 ^{1,2}	110,48±4,16	91,52±2,38 ¹
Ушачский р-н	139,66±4,55 ^{1,2}	127,92±4,07	96,36±2,36 ¹
Шумилинский р-н	157,82±4,52 ^{1,2}	132,87±4,32	89,06±2,00 ¹
Сенненский р-н	157,31±4,25 ^{1,2}	126,26±3,18	83,54±2,24 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 осенним периодом содержания мочевой кислоты в гемолимфе катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в Витебском и Ушачском районах в 1,5 раза, в Дубровенском и Шумилинском – в 1,8 раза, в Бешенковичском – в 1,7 раза, в Сенненском – в 1,9 раза. При исследовании содержания мочевой кислоты в гемолимфе катушки роговой обнаружено достоверное увеличение уровня мочевой кислоты от осеннего периода сбора к весеннему.

Мочевая кислота является конечным продуктом реакций превращения пуриновых оснований, синтезируемых в основном печенью и выводимых почками. Уровень мочевой кислоты говорит о состоянии здоровья исследуемого организма. Сдвиги содержания данного продукта обмена в крови как в сторону повышения, так и в сторону понижения зависят от двух процессов: образования кислоты в печени и времени выведения ее, которые могут изменяться вследствие различных неблагоприятных внешних воздействий факторов окружающей среды. Положительное действие гиперурикемии, высокий уровень пуринового продукта обмена в гемолимфе благоприятно влияют на организм и позволяют корректировать некоторые патологические состояния.

Установлено, что уровень РНК в гепатопанкреасе катушки роговой зависит от сезона года, наибольшее значение данного показателя отмечается в весенний период, наименьшее – в осенний период сбора моллюсков (табл. 5).

Таблица 5

Содержание РНК (мг/г) в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	10,20±0,58 ^{1,2}	7,44±0,35	5,46±0,35 ¹
Дубровенский р-н	11,06±0,55 ^{1,2}	9,87±0,27	6,12±0,15 ¹
Бешенковичский р-н	9,19±0,25 ^{1,2}	7,47±0,49	6,39±0,45 ¹
Ушачский р-н	10,80±0,35 ^{1,2}	9,08±0,46	7,02±0,42 ¹
Шумилинский р-н	10,60±0,67 ^{1,2}	9,63±0,39	6,79±0,58 ¹
Сенненский р-н	15,25±0,71 ^{1,2}	12,83±0,44	10,06±0,41 ¹

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

Наибольшее содержание РНК в гепатопанкреасе катушек было отмечено весной и затем уменьшалось летом и осенью. По сравнению с осенним периодом содержания РНК у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в Витебском и Дубровенском районах в 1,8 раза, Бешенковичском, Ушачском, Сенненском, Шумилинском районах в 1,5 раза. Но были выявлены отличия: так, весенние уровни РНК были одинаковыми у животных, собранных в водоемах Витебского и Шумилинского районов, но у катушек из Сенненского района весенний уровень РНК достоверно превышал в 1,5 раза содержание РНК у моллюсков из водоемов двух других районов. Аналогичный эффект был отмечен при анализе РНК летом и осенью.

Высокое содержание РНК весной может свидетельствовать об усиленном биосинтезе белков в клетках тканей гепатопанкреаса после выхода из гипобриоза.

Содержание ДНК в тканях гепатопанкреаса имело противоположную тенденцию по сравнению с сезонной динамикой РНК (табл. 6).

Таблица 6

Содержание ДНК (мг/г) в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	1,44±0,11 ²	1,67±0,09	1,83±0,10 ¹
Дубровенский р-н	1,64±0,16 ²	1,83±0,09	2,00±0,07 ¹
Бешенковичский р-н	1,95±0,26 ²	1,93±0,16	2,39±0,09 ¹
Ушачский р-н	2,09±0,26 ²	2,75±0,05	2,94±0,19 ¹
Шумилинский р-н	1,96±0,17 ^{1,2}	2,01±0,23	2,73±0,29 ¹
Сенненский р-н	1,54±0,15 ²	1,73±0,12	1,98±0,15 ¹

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

Уровень ДНК в гепатопанкреасе катушки роговой зависит от сезона года. Содержание ДНК в гепатопанкреасе имело противоположную динамику по сравнению с сезонной динамикой РНК. Установлено, что наибольшее содержание данного показателя фиксируется в осенний период, наименьшие значения – в весенний период сбора моллюсков. По сравнению с летним периодом сбора в гепатопанкреасе моллюсков понижено содержание ДНК в весенний период в 1,2 раза в Витебском и Ушачском районах. По сравнению с летним периодом сбора у моллюсков повышено содержание ДНК в осенний период в 1,24 раза в Бешенковичском районе, в 1,36 раза в Шумилинском районе. По сравнению с осенним периодом содержания ДНК у катушки роговой в весенний период сбора статистически значимые отличия получены в 1,2 раза в Витебском, Дубровенском и Бешенковичском районах, в 1,4 раза в Ушачском и Шумилинском районах, в 1,3 раза в Сенненском районе.

В табл. 7 представлены данные о содержании белка в тканях гепатопанкреаса катушки роговой. В гепатопанкреасе катушек из Сенненского района сезонная динамика содержания общего белка имела такую же тенденцию, как и для ДНК, – увеличение содержания общего белка от весны к осени (табл. 7).

Таблица 7

Содержание общего белка (мг/г) в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	189±7,1 ^{1,2}	135±7,3	256±8,2 ¹
Дубровенский р-н	123±5,2 ^{1,2}	100±4,1	139±8,6 ¹
Бешенковичский р-н	172±6,1 ^{1,2}	122±4,9	207±6,3 ¹
Ушачский р-н	150±7,3 ^{1,2}	113±3,8	211±9,7 ¹
Шумилинский р-н	233±9,2 ^{1,2}	79±3,3	205±7,5 ¹
Сенненский р-н	180±6,5 ^{1,2}	243±3,4	322±12,9 ¹

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

Наибольшие изменения концентрации общего белка отмечены у катушки роговой между летним и осенним периодами сбора. По сравнению с летним периодом сбора у моллюсков повышено содержание общего белка в осенний период в 1,9 раза в Витебском и Ушачском районах, в 1,4 раза в Дубровенском и Сенненском районах, в 1,7 раза в Бешенковичском районе, в 2,6 раза в Шумилинском районе.

Концентрация глюкозы в гемолимфе катушки роговой имеет сезонный характер изменений. Установлено, что наибольшие значения данного показателя отмечаются в весенний период, наименьшие – в осенний период сбора моллюсков (табл. 8).

Таблица 8

Содержание глюкозы (ммоль/л) в гемолимфе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	1,90±0,072 ^{1,2}	1,21±0,022	0,73±0,045 ¹
Дубровенский р-н	1,33±0,068 ^{1,2}	0,96±0,045	0,67±0,069 ¹
Бешенковичский р-н	1,26±0,043 ^{1,2}	0,94±0,096	0,62±0,065 ¹
Ушачский р-н	1,10±0,095 ^{1,2}	0,85±0,088	0,58±0,055 ¹
Шумилинский р-н	2,34±0,252 ^{1,2}	1,54±0,086	1,15±0,086 ¹
Сенненский р-н	1,70±0,256 ^{1,2}	1,12±0,079	0,69±0,033 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 1,3 раза в Дубровенском, Бешенковичском и Ушачском районах, в 1,5 раза в Витебском, Шумилинском и Сенненском районах. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках понижено содержание глюкозы в осенний период в 1,6 раза в Витебском и Сенненском районах, в 1,4 раза в Шумилинском и Дубровенском районах, в 1,5 раза в Бешенковичском и Ушачском районах. По сравнению с осенним периодом повышена концентрация глюкозы в гемолимфе у катушки роговой в весенний период в 2,5 раза в Витебском и Сенненском районах, в 2 раза в Дубровенском, Шумилинском, Ушачском и Бешенковичском районах (табл. 8).

Уровень гликогена в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* зависит от времени года и имеет противоположную динамику по сравнению с сезонной динамикой содержания глюкозы в гемолимфе. Отмечено, что наибольшее содержание данного показателя отмечается в осенний период, наименьшие значения – в весенний период сбора моллюсков, при этом имеет обратную динамику по сравнению с содержанием глюкозы в гемолимфе (табл. 9).

Таблица 9

Содержание гликогена (мг/г) в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	17,58±0,133 ^{1,2}	20,88±0,244	24,05±0,208 ¹
Дубровенский р-н	20,23±0,255 ^{1,2}	22,51±0,312	24,52±0,327 ¹
Бешенковичский р-н	20,77±0,265 ^{1,2}	22,22±0,331	24,31±0,232 ¹
Ушачский р-н	21,08±0,186 ^{1,2}	22,78±0,158	24,86±0,158 ¹
Шумилинский р-н	17,36±0,153 ^{1,2}	19,88±0,203	21,15±0,109 ¹
Сенненский р-н	19,37±0,138 ^{1,2}	20,14±0,174	24,48±0,184 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 понижено содержание гликогена в весенний период в 1,2 раза в Витебском районе. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышено содержание гликогена в осенний период в 1,2 раза в Витебском и Сенненском районах.

По сравнению с осенним периодом содержания гликогена у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в 1,4 раза в Витебском районе, в 1,2 раза в Дубровенском, Бешенковичском, Ушачском, Шумилинском и Сенненском районах (табл. 9).

Результаты, представленные в табл. 10, свидетельствуют о том, что сезонные изменения оказывают влияние на антиоксидантную систему легочных моллюсков, приводят к активации процессов перекисного окисления липидов в наиболее сложных условиях обитания в весенний и осенний периоды года, что доказывается увеличением содержания ТБК-ПВ во всех экспериментальных группах.

Содержание ТБК-ПВ (мкмоль/г) в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	8,04±0,55 ^{1,2}	4,36±0,25	5,24±0,33 ¹
Дубровенский р-н	5,98±0,36 ^{1,2}	2,67±0,24	4,54±0,17 ¹
Бешенковичский р-н	5,13±0,61 ¹	3,68±0,31	4,53±0,45 ¹
Ушачский р-н	5,77±0,42 ¹	4,49±0,29	5,58±0,64 ¹
Шумилинский р-н	7,93±0,42 ^{1,2}	3,34±0,30	5,08±0,78 ¹
Сенненский р-н	5,84±0,34 ^{1,2}	2,78±0,21	4,11±0,23 ¹

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

Содержание ТБК-ПВ имеет сезонный характер изменения. Установлено, что наибольшее содержание данного показателя фиксируется в весенний период, наименьшие значения – в летний период сбора моллюсков. Полученные изменения в концентрации ТБК-ПВ имеют однотипный характер во всех исследуемых районах сбора моллюсков: самое высокое значение – в весенний период, среднее значение – в осенний период, наименьшее значение – в летний период (табл. 10).

По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышено содержание ТБК-ПВ в весенний период в 1,8 раза в Витебском районе, в 2,3 раза в Дубровенском, Шумилинском и Сенненском районах, в 1,3 раза в Бешенковичском и Ушачском районах. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышено содержание ТБК-ПВ в осенний период в 1,2 раза в Витебском, Бешенковичском и Ушачском районах, 1,5 раза в Дубровенском, Шумилинском и Сенненском районах. По сравнению с осенним периодом сбора содержание ТБК-ПВ в гепатопанкреасе катушки роговой с весенним периодом следующее: статистически значимые отличия получены в 1,5 раза в Витебском и Шумилинском районах, в 1,3 раза в Дубровенском и Сенненском районах.

При сравнении данного показателя между районами выявлено, что наибольшие значения и их варьирование отмечены у моллюсков, собранных в Витебском, Шумилинском и Сенненском районах. При сравнении показателей у моллюсков из проточной воды (р. Витьба Витебский район) и стоячей воды (озера всех остальных районов) отмечаются более высокие значения для моллюсков, собранных и обитающих в проточной воде (табл. 10).

Активность каталазы в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* зависит от сезона года (табл. 11).

Таблица 11

Активность каталазы (мкмоль/мин/г) в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	82,4±1,4 ^{1,2}	31,2±1,2	52,3±1,3 ¹
Дубровенский р-н	64,5±2,1 ^{1,2}	27,4±1,4	48,6±1,7 ¹
Бешенковичский р-н	70,9±2,3 ^{1,2}	29,5±1,3	57,3±2,0 ¹
Ушачский р-н	78,7±7,6 ^{1,2}	29,7±1,8	49,8±2,4 ¹
Шумилинский р-н	67,4±2,8 ^{1,2}	26,7±3,8	47,8±1,7 ¹
Сенненский р-н	69,5±1,6 ^{1,2}	28,7±1,2	48,8±1,4 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 повышена активность каталазы в весенний период в 2,5 раза во всех исследуемых районах. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность каталазы в осенний период в 1,7 раза во всех районах. По сравнению с осенним периодом проявлялась активность каталазы катушки роговой в весенний период: статистически значимые отличия получены в 1,6 раза в Витебском и Ушачском районах, в 1,3 раза в Дубровенском, Бешенковичском, Шумилинском и Сенненском районах (табл. 11).

Содержание восстановленного глутатиона (мкмоль/г) в гепатопанкреасе в *Planorbarius corneus* (M±m)

Район сбора моллюсков	Сезон года		
	Весна (n=9)	Лето (n=9)	Осень (n=9)
Витебский р-н	11,43±0,15 ^{1,2}	7,22±0,08	8,94±0,07 ¹
Дубровенский р-н	10,56±0,06 ^{1,2}	7,04±0,04	9,16±0,13 ¹
Бешенковичский р-н	10,18±0,24 ^{1,2}	7,02±0,07	9,56±0,12 ¹
Ушачский р-н	10,61±0,21 ^{1,2}	7,18±0,04	9,01±0,11 ¹
Шумилинский р-н	10,76±0,04 ^{1,2}	7,14±0,06	8,87±0,09 ¹
Сенненский р-н	10,58±0,06 ^{1,2}	6,87±0,03	8,92±0,05 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 *Planorbarius corneus* повышено содержание восстановленного глутатиона в весенний период в 1,5 раза во всех исследуемых районах. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышено содержание восстановленного глутатиона в осенний период в 1,3 раза во всех исследуемых районах. По сравнению с осенним периодом содержание восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе в весенний период такое: статистически значимые отличия получены в 1,2 раза в Витебском, Дубровенском, Ушачском, Шумилинском и Сенненском районах (табл. 12).

Заключение. На метаболизм *Planorbarius corneus* оказывают влияние сезонные и антропогенные факторы окружающей среды. Азотный обмен характеризуется изменениями концентраций исследуемых веществ. Содержание общего белка в гемолимфе *Planorbarius corneus* 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 *Planorbarius corneus* закономерно повышается от осени к весне. Данные изменения связаны с изменением состава кормовой базы, физической и физиологической активности организмов и 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 катушки роговой закономерно снижается от весны к осени. Содержание ДНК в тканях гепатопанкреаса закономерно повышается от весны к осени. Содержание общего белка в тканях гепатопанкреаса *Planorbarius corneus* уменьшается по сезонам в последовательности осень → весна → лето.

При исследовании обмена углеводов у *Planorbarius corneus* установлено, что воздействие неблагоприятных факторов окружающей среды приводит к усилению мобилизации углеводов, о чем свидетельствует снижение уровня гликогена. Отмечена следующая динамика: концентрация глюкозы в гемолимфе уменьшается в последовательности весна → лето → осень, а гликогена в обратной последовательности осень → лето → весна.

На активность антиоксидантной системы *Planorbarius corneus* влияют сезонные и антропогенные факторы окружающей среды. Уровень ТБК-ПВ в гепатопанкреасе моллюсков изменяется 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 сходная сезонная динамика: весной активность фермента превышает летний уровень в среднем в 2,5 раза, а осенью – в 1,7 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 1,2 раза.

На обмен веществ *Planorbarius corneus* не оказывало значительного влияния местообитание, характер зафиксированных изменений концентрации исследуемых веществ имел однотипную закономерность во всех исследуемых районах.

Таким образом, на основании полученных данных может быть создан алгоритм установления экологического состояния природных водоемов посредством анализа простых показателей азотного, углеводного обменов и активности антиоксидантной системы по двум параметрам – сезону года и местообитанию с использованием в качестве тест-организма широко распространенного вида легочных пресноводных моллюсков – *Planorbarius corneus*.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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, 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: учеб.-метод. 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 // Anal/ 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. – Grune & Stratton, Orlando, 1990. – P. 131–134.

REFERENCES

1. Shevtsova S.N., Babenko A.S., Dromashko S.E. *Trudi BGU* [Proceedings of BSU], 2011, 6, Part 1, pp. 152–162.
2. Chirkin A.A., Danchenko E.O., Bokut S.B. *Biokhimiya filogeneza i ontogeneza: ucheb. posobiye* [Biochemistry of Philogenesis and Ontogenesis: Textbook], Minsk, Novoye znaniye, RINFRA-M, 2012, 288 p.
3. Stadnichenko A.P. *Parazitologiya* [Parasitology], 1999, 33(2), pp. 125–128.
4. Dromashko S.E., Shevtsova S.N. *Biotesirovaniye – sostavnoi element otsenki sostoyaniya okruzhayushchei sredi: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Biotesting – a Component of the Assessment of the Environment State: Guidebook], Minsk, IPNK, 2012, 82 p.
5. Chirkin A.A. *Meditsinskaya literatura* {Medical Literature}, M., 2003, 122 p.
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 // Anal/ 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. Koroliuk M.A. *Laboratornoye delo* [Laboratory Business], 1988, 1, pp. 16–19.
11. Beutler E. Red cell metabolism a manual of biochemical methods / E. Beutler. – Grune & Stratton, Orlando, 1990. – P. 131–134.

Поступила в редакцию 04.12.2017

Адрес для корреспонденции: e-mail: olgal.tih@gmail.com – Балаева-Тихомирова О.М.