

УДК 594.38:577.151(476.5+476.2)

А. С. Володько¹, Е. И. Кацнельсон², О. М. Балаева-Тихомирова³¹Магистрант кафедры химии, УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь²Выпускница аспирантуры кафедры химии, УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь³Кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой химии, УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь**ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ТКАНЕЙ ПРЭСНОВОДНЫХ ЛЕГОЧНЫХ МОЛЛЮСКОВ ВИТЕБСКОЙ И ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

Легочные пресноводные моллюски катушка роговая и прудовик обыкновенный являются удобными тест-организмами для биоэкологических и биохимических исследований при изучении влияния антропогенной нагрузки, местообитания и сезона года на активность ферментативной антиоксидантной системы гемолимфы и гепатопанкреаса. Данные исследования позволяют сформировать представления об особенностях работы антиоксидантной системы биологических объектов, обитающих в водоемах, находящихся под влиянием различных факторов окружающей среды разной степени интенсивности.

*Ключевые слова: *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, ферментативная активность, супероксиддисмутаза, глутатионредуктаза, биотестирование, биомониторинг.*

Введение

Интенсивная хозяйственная деятельность в прибрежной зоне водоемов приводит к изменениям гидрохимического режима вод, способствуя таким нежелательным явлениям как эвтрофикация и гипоксия [1]. Кроме того, на жизнедеятельность пресноводных моллюсков влияет присутствие в воде различных токсичных веществ, таких как тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды, поверхностно-активные вещества, пестициды. Неблагоприятные факторы среды способствуют образованию активных форм кислорода (АФК) в клетках, а также вызывают окисление сульфгидрильных групп ферментов, инактивируя их [2], [3].

В норме в клетках и тканях аэробных организмов всегда образуются АФК (O_2 , H_2O_2 , $OH\cdot$ и др.). Эти соединения высокореактивны и вызывают окислительное повреждение биологически важных молекул. У всех организмов присутствует антиоксидантная система, представленная специфическими ферментами и низкомолекулярными компонентами, которая сдерживает разрушительное действие АФК. Экстремальные абиотические факторы среды усиливают генерацию АФК, в результате нарушаются механизмы функционирования биохимических систем, что ведет к развитию окислительного стресса. Для оценки воздействия повреждающих факторов были выбраны следующие показатели антиоксидантной системы клетки: активность антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), глутатионпероксидазы (ГП) и глутатионредуктазы (ГР) [4]–[6].

Состояние пресноводных экосистем оценивается с применением многих компонентов бентоса, в том числе и моллюсков. Высокая плотность природных популяций, относительно низкая подвижность, питание преимущественно осадочным детритом и перифитоном и простота сбора позволяют использовать моллюсков в практике как пассивного, так и активного биомониторинга [7].

Легочные пресноводные моллюски *Lymnaea stagnalis* (прудовик обыкновенный) и *Planorbarius corneus* (катушка роговая) с разными переносчиками кислорода (медьсодержащий гемоцианин и железосодержащий гемоглобин соответственно) представляют собой тест-организмы для оценки биоразнообразия водной фауны и биоэкологических исследований. Проведение исследований с использованием прудовика обыкновенного и катушки роговой имеют фундаментальную и практическую значимость, т.к. данные виды пресноводных легочных моллюсков широко распространены на территории Республики Беларусь, а *Lymnaea stagnalis* отнесен к объектам мониторинга состояния поверхностных вод Республики Беларусь. Кроме того, благодаря стабильно высокой численности природных популяций и простоте культивирования

в лабораторных условиях, прудовик обыкновенный и катушка роговая представляют собой удобные и простые тест-системы для исследований в различных областях биологии, биохимии и экологии.

Цель исследования – оценить активность ферментативной антиоксидантной системы тканей легочных пресноводных моллюсков в зависимости от сезона года, местообитания и типа транспорта кислорода.

Материал и методы исследования. Опыты поставлены на 378 легочных пресноводных моллюсках, разделенных на две группы: 189 особей *Lymnaea stagnalis* и 189 особей *Planorbarius corneus*. Моллюски собирались весной (апрель), летом (июнь – июль) и осенью (сентябрь – октябрь) в водоемах Витебской и Гомельской областей, имеющих различную антропогенную нагрузку. В каждой исследовательской подгруппе содержалось по 9 моллюсков (таблица 1).

Таблица 1. – Характеристика мест сбора моллюсков

Район сбора моллюсков	Место сбора	Название водоема	Уровень антропогенной нагрузки и радиоационного фона
Витебский р-н	г. Витебск	р. Витьба	Река используется как зона отдыха, вблизи реки размещены автомобильные и пешеходные мосты, на берегах имеются большие скопления мусора. Река Витьба расположена на территории, не относящейся к зоне радиоактивного загрязнения.
Дубровенский р-н	д. Ляды	оз. Афанасьевское	Расположено в Дубровенском районе Витебской области недалеко от границы со Смоленской областью (Российской Федерации). Водоем подвергается сильной антропогенной нагрузке, так как используется для мелиорации земель. Озеро располагается на территории, не относящейся к зоне радиоактивного загрязнения.
Ушачский р-н	д. Дубровка	оз. Дубровское	Находится относительно далеко от крупных промышленных центров и крупных автомагистралей, отличается чистой водой. Озеро Дубровское находится на территории, не относящейся к зоне радиоактивного загрязнения.
Шумилинский р-н	а/г Башни	оз. Будовесь	Находится в 7–8 км от трассы Витебск – Полоцк. Не используется в промышленности и сельском хозяйстве, в озеро не осуществляется сброс сточных вод. Озеро расположено на территории, не относящейся к зоне радиоактивного загрязнения.
Гомельский р-н	г. Гомель	оз. Любенское	На экологию озера оказывают влияние хозяйственная деятельность человека: промышленные, бытовые и ливневые стоки, атмосферные осадки и газодымовые выбросы и повышенный радиационный фон. Уровень поверхностного радиационного загрязнения Гомеля ^{137}Cs находится в диапазоне 1–5 Кюри/км ² .
Мозырский р-н	д. Красная Горка	р. Припять	На состояние водоема сильное влияние оказывают канализационные сети, из-за чего в реку попадают хозяйственно-бытовые стоки. Уровень поверхностного радиационного загрязнения Мозырского района ^{137}Cs находится в диапазоне 1–5 Кюри/км ² .

Продолжение таблицы 1

Рогачевский р-н	г. Рогачев	р. Друть	Река подвергается сильной антропогенной нагрузке во время весеннего паводка, т. к. из-за подмыва дамбы очистительных сооружений свинофермы, в водоем ежедневно попадали продукты жизнедеятельности животных. Также река используется как зона отдыха. Расположена Тетеринская ГЭС, эксплуатация которой вызывает сильные перепады уровня воды в течение дня. Уровень поверхностного радиационного загрязнения Рогачёва ¹³⁷ Cs находится в диапазоне 5–15 Кюри/км ² .
-----------------	------------	----------	--

Гемолимфу у *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* получали посредством раздражения ноги легким 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. Путем механического воздействия дробили раковину моллюска и острым скальпелем осторожно отделяли гепатопанкреас от соединительной и жировой ткани.

Метод определения общей активности глутатионпероксидазы основан на измерении количества не прореагировавшего с пероксидом водорода восстановленного глутатиона, определяемого реакцией с ДТНБК [8]. Метод определения активности СОД основан на определении степени торможения ферментом аутоокисления кверцетина [8].

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

Результаты исследования и их обсуждение

Активность супероксиддисмутазы в гемолимфе и гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* зависит от сезона года. Установлено, что наибольшая активность данного показателя фиксируется в весенний период, наименьшая – в летний период сбора моллюсков (таблица 2).

Таблица 2. – Активность супероксиддисмутазы (%) в гепатопанкреасе и гемолимфе *Planorbarius corneus* ($M \pm m$)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
гепатопанкреас			
Витебский р-н	80,09±1,40	75,43±1,04	78,55±1,28
Дубровенский р-н	77,41±1,84 ¹	60,07±1,29 ²	75,65±1,18 ¹
Ушачский р-н	79,36±1,35	74,86±1,19	77,53±1,30
Шумилинский р-н	79,79±0,96 ¹	64,02±0,58 ²	72,79±1,51 ¹
Гомельский р-н	74,94±1,05	71,59±0,89	73,68±1,04
Мозырский р-н	74,62±2,28 ^{1,2}	57,62±1,45 ²	66,78±1,79 ¹
Рогачевский р-н	77,27±0,76	75,01±0,48	76,13±1,40
гемолимфа			
Витебский р-н	63,92±1,51	57,99±1,84	61,46±2,53
Дубровенский р-н	62,34±2,02 ¹	55,64±1,41	59,77±1,63
Ушачский р-н	61,33±1,50	55,04±1,35	58,20±1,80
Шумилинский р-н	60,32±2,05	55,15±1,23	58,85±1,55
Гомельский р-н	64,64±1,86	56,07±1,57 ²	60,94±2,73 ¹
Мозырский р-н	59,26±1,10	55,06±1,36	57,03±2,34
Рогачёвский р-н	63,28±2,99	58,43±1,98	61,10±2,65

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 катушек повышена активность супероксиддисмутазы в гемолимфе в весенний период в 1,2–1,3 раза в Дубровенском, Шумилинском и Мозырском районах; в гепатопанкреасе – в 1,2 раза в Гомельском районе. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность фермента в гемолимфе в осенний период в 1,2–1,3 раза в Дубровенском и Мозырском районах. Статистически значимых различий в активности СОД в гепатопанкреасе у катушек, собранных в осенний и летний сезоны, не установлено. По сравнению с осенним периодом в активности супероксиддисмутазы в гемолимфе и гепатопанкреасе катушки роговой в весенний период статистически значимых отличий не установлено (таблица 2).

В таблице 3 представлены значения активности супероксиддисмутазы в гемолимфе и гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis*.

Таблица 3. – Активность супероксиддисмутазы (%) в гепатопанкреасе и гемолимфе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
гепатопанкреас			
Витебский р-н	80,45±1,76 ^{1,2}	67,29±1,39 ¹	71,65±1,58 ¹
Дубровенский р-н	87,20±1,01	53,48±0,65 ¹	70,71±1,91 ¹
Ушачский р-н	87,04±0,64	48,53±0,24 ¹	67,09±2,02 ¹
Шумилинский р-н	86,82±0,85	48,94±0,41 ¹	68,40±1,59 ¹
Гомельский р-н	72,19±1,18	65,41±0,56	69,93±1,08
Мозырский р-н	68,40±1,53	58,91±0,25 ¹	64,47±0,33 ¹
Рогачевский р-н	68,30±1,80	61,79±1,77	65,41±1,50
гемолимфа			
Витебский р-н	56,11±2,46 ^{1,2}	41,02±1,92 ²	48,57±2,19 ¹
Дубровенский р-н	63,03±2,66 ^{1,2}	31,92±1,52 ²	48,44±1,80 ¹
Ушачский р-н	54,64±2,30 ¹	49,98±1,81	52,34±2,01
Шумилинский р-н	60,24±2,44 ^{1,2}	31,35±1,66 ²	45,83±2,09 ¹
Гомельский р-н	50,78±0,59	44,25±0,29	47,92±1,46
Мозырский р-н	54,31±1,61 ^{1,2}	42,17±1,14 ²	48,83±1,64 ¹
Рогачевский р-н	55,02±2,59 ¹	46,02±1,88 ²	51,30±2,81 ¹

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

В сравнении с летним периодом сбора у прудовиков повышена активность супероксиддисмутазы в гемолимфе в весенний период в среднем в 1,3 раза в Витебском, Мозырском и Рогачевском районах, в среднем в 2 раза в Дубровенском и Шумилинском районах; в гепатопанкреасе – в 1,2 раза в Витебском и Мозырском районах, в 1,6 раза в Дубровенском районе, в 1,8 раза в Ушачском и Шумилинском районах. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность фермента в гемолимфе в осенний период в 1,2 раза в Витебском и Мозырском районах, в 1,5 раза в Дубровенском и Шумилинском районах; в гепатопанкреасе – в среднем в 1,3 раза в Дубровенском, Ушачском и Шумилинском районах. По сравнению с осенним периодом в повышении активности супероксиддисмутазы в гемолимфе прудовика в весенний период установлены следующие различия: в среднем в 1,2 раза в Витебском, Дубровенском и Шумилинском районах; в гепатопанкреасе – в 1,3 раза в Дубровенском, Ушачском и Шумилинском районах (таблица 3).

Общая активность глутатионредуктазы в гемолимфе и гепатопанкреасе *Pl. corneus* изменяется в зависимости от сезона года. Установлено, что наибольшая активность фермента отмечается в весенний период, наименьшая – в летний период сбора моллюсков. По сравнению с летним периодом сбора у моллюсков повышена активность глутатионредуктазы в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* в весенний период в 2 раза в Дубровенском районе, 1,4 раза в Ушачском и Гомельском районах, в 1,7 раза в Мозырском и Рогачевском районах. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность фермента в гепатопанкреасе в осенний период в 1,3 раза в Ушачском и Гомельском районах, в 1,4 раза в Дубровенском, Мозырском и Рогачевском районах. По сравнению с осенним периодом в повышении активности супероксиддисмутазы в гепатопанкреасе катушки в весенний период установлены следующие различия: в 1,4 раза в Дубровенском районе, в 1,2 раза в Ушачском, Гомельском, Мозырском и Рогачевском районах (таблица 4).

Таблица 4. – Активность глутатионредуктазы (мкмоль/мин г) в гепатопакреасе и гемолимфе *Planorbarius corneus* ($M \pm m$)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
гепатопанкреас			
Витебский р-н	0,409±0,04	0,371±0,01	0,393±0,03
Дубровенский р-н	0,560±0,08	0,274±0,03 ²	0,413±0,04 ¹
Ушачский р-н	0,497±0,03	0,318±0,04 ²	0,402±0,05 ¹
Шумилинский р-н	0,466±0,02	0,399±0,01	0,428±0,05
Гомельский р-н	0,585±0,02	0,418±0,01 ²	0,502±0,02 ¹
Мозырский р-н	0,570±0,03	0,325±0,02 ²	0,466±0,05 ¹
Рогачевский р-н	0,593±0,02	0,329±0,01 ²	0,477±0,03 ¹
гемолимфа			
Витебский р-н	0,0298±0,003	0,0251±0,006	0,0279±0,008
Дубровенский р-н	0,0331±0,004 ²	0,0193±0,002 ²	0,0262±0,009 ¹
Ушачский р-н	0,0318±0,003 ^{1,2}	0,0198±0,001 ²	0,0261±0,001 ¹
Шумилинский р-н	0,0310±0,004	0,0232±0,003 ²	0,0275±0,007 ¹
Гомельский р-н	0,0301±0,007	0,0275±0,004	0,0290±0,007
Мозырский р-н	0,0350±0,009	0,0278±0,006	0,0316±0,002
Рогачевский р-н	0,0360±0,007	0,0457±0,005	0,0310±0,007

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 *Planorbarius corneus* повышена активность глутатионредуктазы в гемолимфе *Planorbarius corneus* в весенний период в 1,7 раза в Дубровенском районе, в 1,6 раза в Ушачском районе, в 1,3 раза в Шумилинском районе. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность фермента в гемолимфе в осенний период в 1,4 раза в Дубровенском районе, в 1,3 раза в Ушачском районе, в 1,2 раза в Шумилинском районе. По сравнению с осенним периодом в повышении активности супероксиддисмутазы в гемолимфе катушки роговой в весенний период установлены следующие различия: в 1,3 раза в Дубровенском районе, в 1,2 раза в Ушачском и Рогачевском районах (таблица 4).

Изменение общей активности глутатионредуктазы в гепатопанкреасе и гемолимфе прудовика обыкновенного имела аналогичную динамику, как и у катушки роговой (таблица 5).

Таблица 5. – Активность глутатионредуктазы (мкмоль/мин г) в гепатопакреасе и гемолимфе *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
гепатопанкреас			
Витебский р-н	0,303±0,05 ^{1,2}	0,198±0,01 ²	0,213±0,02 ¹
Дубровенский р-н	0,498±0,08 ^{1,2}	0,152±0,03 ²	0,248±0,02 ¹
Ушачский р-н	0,545±0,09 ^{1,2}	0,132±0,008 ²	0,270±0,01 ¹
Шумилинский р-н	0,569±0,06	0,121±0,04 ²	0,339±0,08 ¹
Гомельский р-н	0,338±0,04	0,184±0,02 ²	0,265±0,05 ¹
Мозырский р-н	0,407±0,02	0,219±0,01 ²	0,316±0,03 ¹
Рогачевский р-н	0,396±0,02	0,156±0,009 ²	0,270±0,03 ¹
гемолимфа			
Витебский р-н	0,0330±0,004 ^{1,2}	0,0185±0,001 ²	0,0240±0,008 ¹
Дубровенский р-н	0,0322±0,004 ^{1,2}	0,0174±0,003 ²	0,0262±0,009 ¹
Ушачский р-н	0,0316±0,003	0,0172±0,002 ²	0,0253±0,007 ¹
Шумилинский р-н	0,0481±0,003	0,0168±0,001 ²	0,0271±0,001 ¹
Гомельский р-н	0,0316±0,009 ^{1,2}	0,0223±0,005 ²	0,0270±0,008 ¹
Мозырский р-н	0,0270±0,009	0,0237±0,004	0,0254±0,002
Рогачевский р-н	0,0250±0,001	0,0220±0,003	0,0239±0,007

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

В сравнении с летним периодом сбора у моллюсков повышена общая активность глутатионредуктазы в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* в весенний период в 1,5 раза в Витебском районе, в 3,2 раза в Дубровенском районе, в 4,1 раза в Ушачском районе, в 4,7 раза в Шумилинском районе, в 1,8 раза в Гомельском и Мозырском районах, в 2,5 раза в Рогачевском районе. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность фермента в гепатопанкреасе в осенний период в 1,6 раза в Дубровенском районе, в 2 раза в Ушачском районе, в 2,8 раза в Шумилинском районе, в 1,4 раза в Гомельском и Мозырском районах, в 1,7 раза в Рогачевском районе. По сравнению с осенним периодом в повышении активности глутатионредуктазы в гепатопанкреасе прудовика в весенний период установлены следующие различия: в 2 раза в Дубровенском и Ушачском районах, в 1,4 раза в Витебском, Гомельском, Мозырском и Рогачевском районах (таблица 5).

По сравнению с летним периодом сбора у моллюсков повышена активность глутатионредуктазы в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* в весенний период в 1,7 раза в Витебском, Дубровенском и Ушачском районах, в 2,9 раза в Шумилинском районе, в 1,4 раза в Гомельском районе. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность фермента в гемолимфе в осенний период в 1,3 раза в Витебском и Гомельском районах, в 1,5 раза в Дубровенском, Шумилинском и Ушачском районах. По сравнению с осенним периодом в повышении активности глутатионредуктазы в гемолимфе прудовика обыкновенного в весенний период установлены следующие различия: в 1,4 раза в Витебском, Дубровенском, Ушачском и Гомельском районах, в 1,8 раза в Шумилинском районе (таблица 5).

Изменение активности каталазы в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного и катушки роговой в зависимости от сезона года имеет сходную динамику (таблица 6).

Таблица 6. – Активность каталазы (мкмоль/мин г) в гепатопанкреасе *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
<i>Planorbarius corneus</i>			
Витебский р-н	2,80 ± 0,05 ¹	2,17±0,01	2,66 ± 0,11
Дубровенский р-н	3,04 ± 0,09 ¹	2,38±0,03	2,76 ± 0,08
Ушачский р-н	2,79 ± 0,08	2,66±0,04 ²	2,89 ± 0,09
Шумилинский р-н	2,71 ± 0,04	2,47±0,01	2,60 ± 0,10
Гомельский р-н	3,16 ± 0,06	2,83±0,05	3,02 ± 0,07
Мозырский р-н	4,58 ± 0,15 ^{1,2}	1,10±0,01 ²	2,34 ± 0,09 ¹
Рогачевский р-н	4,52 ± 0,14 ^{1,2}	1,12±0,08 ²	2,86 ± 0,17 ¹
<i>Lymnaea stagnalis</i>			
Витебский р-н	3,13 ± 0,05 ¹	2,56±0,04	2,85 ± 0,09
Дубровенский р-н	3,03 ± 0,12	2,81±0,02	2,94 ± 0,08
Ушачский р-н	3,20 ± 0,29	2,87±0,03	3,06 ± 0,04
Шумилинский р-н	3,13 ± 0,30 ¹	2,59±0,009	2,94 ± 0,10
Гомельский р-н	3,12 ± 0,08	2,99±0,06	3,06 ± 0,12
Мозырский р-н	4,57 ± 0,12 ¹	3,62±0,06 ²	4,19 ± 0,11 ¹
Рогачевский р-н	5,28 ± 0,19 ¹	3,35±0,05 ²	4,28 ± 0,12 ¹

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

В сравнении с летним периодом сбора у моллюсков повышена активность каталазы в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* в весенний период в 1,2 раза в Витебском и Шумилинском районах, в 1,8 раза в Мозырском районе, в 1,6 раза в Рогачевском районе. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность фермента в гепатопанкреасе в осенний период в среднем в 1,2 раза в Мозырском и Рогачевском районах. По сравнению с осенним периодом сбора активность каталазы в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного в весенний период выше в 1,2 раза в Рогачевском районе (таблица 6).

По сравнению с летним периодом сбора у катушки роговой повышена активность каталазы в гепатопанкреасе в весенний период в 1,3 раза в Витебском и Дубровенском районах, в 4,1 раза в Мозырском и Рогачевском районах. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена

активность фермента в осенний период в 1,2 раза в Витебском и Дубровенском районах, в 2,1 раза в Мозырском районе, в 2,6 раза в Рогачевском районе. По сравнению с осенним периодом в повышении активности глутатионредуктазы в гемолимфе *Planorbarius corneus* в весенний период установлены следующие различия: в 2 раза в Мозырском районе, в 1,8 раза в Рогачевском районе (таблица 6).

Изменения активности глутатионпероксидазы в гемолимфе прудовика обыкновенного и катушки роговой в зависимости от сезона года представлены в таблице 7.

Таблица 7. – Активность глутатионпероксидазы (мкмоль/мл мин) в гемолимфе *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis* ($M \pm m$)

Район сбора	Сезон года		
	Весна (n = 9)	Лето (n = 9)	Осень (n = 9)
<i>Planorbarius corneus</i>			
Витебский р-н	0,620 ± 0,031	0,570±0,019	0,600 ± 0,027
Дубровенский р-н	0,590± 0,02	0,540±0,03	0,570± 0,04
Ушачский р-н	0,600 ± 0,02	0,560±0,04	0,580 ± 0,04
Шумилинский р-н	0,560± 0,02	0,390±0,01	0,480± 0,05
Гомельский р-н	0,649 ± 0,03 ^{1,2}	0,200±0,01 ²	0,390± 0,04 ¹
Мозырский р-н	0,650 ± 0,04	0,580±0,02 ²	0,620 ± 0,06
Рогачевский р-н	0,730 ± 0,02 ^{1,2}	0,480±0,01 ²	0,610 ± 0,05 ¹
<i>Lymnaea stagnalis</i>			
Витебский р-н	0,670± 0,025	0,580±0,016	0,630 ± 0,037
Дубровенский р-н	0,690 ± 0,040	0,560±0,010 ²	0,620 ± 0,040
Ушачский р-н	0,660 ± 0,030	0,510±0,040 ²	0,600 ± 0,060
Шумилинский р-н	0,659 ± 0,110	0,570±0,020 ²	0,620 ± 0,080
Гомельский р-н	0,650 ± 0,020	0,605±0,040	0,630 ± 0,050
Мозырский р-н	0,730 ± 0,020	0,650±0,006	0,690 ± 0,030
Рогачевский р-н	0,660 ± 0,020	0,610±0,050	0,630 ± 0,060

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

В сравнении с летним периодом сбора у моллюсков повышена активность глутатионпероксидазы в гемолимфе *Planorbarius corneus* в весенний период в 2,2 раза в Ушачском районе, в 3,3 раза в Гомельском районе. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность фермента в гемолимфе в осенний период в среднем в 1,2 раза в Шумилинском районе, в 2 раза в Гомельском районе, в 1,3 раза в Рогачевском районе. По сравнению с осенним периодом в повышении активности глутатионпероксидазы в гемолимфе катушки в весенний период установлены следующие различия: в 1,2 раза в Шумилинском и Рогачевском районах, в 1,7 раза в Гомельском районе (таблица 7).

По сравнению с летним периодом сбора у прудовика обыкновенного повышена активность глутатионпероксидазы в гемолимфе в весенний период в 1,2 раза в Витебском, Дубровенском, Ушачском, Шумилинском районах. По сравнению с летним периодом сбора в моллюсках повышена активность фермента в осенний период в 1,2 раза в Ушачском районе. По сравнению с осенним периодом в активности глутатионредуктазы в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* в весенний период статистически значимых отличий не установлено (таблица 7).

Выводы

Активность каталазы, супероксиддисмутаза, глутатионпероксидазы и глутатионредуктазы в гемолимфе и гепатопанкреасе прудовика обыкновенного и катушки роговой снижено в летний период времени и повышено весной и осенью. Отмечена следующая динамика активности исследуемых ферментов в гемолимфе и гепатопанкреасе моллюсков: активность уменьшается в последовательности весна > осень > лето. Статистически значимых различий в активности ферментов антиоксидантной системы в зависимости от типа транспорта кислорода не установлено.

Таким образом, сезонные и антропогенные изменения показателей ферментативной антиоксидантной активности могут служить мониторинговыми параметрами экологического благополучия водных сред обитания легочных пресноводных. Биохимическая реактивность двух

видов легочных моллюсков на различные экзогенные воздействия оказывается различной по ряду параметров, что в дальнейшем может быть использовано как тест чувствительности гидробионтов к воздействиям физической и химической природы.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Никаноров, А. М. Научные основы мониторинга качества вод / А. М. Никаноров. – СПб. : Гидрометеоиздательство, 2005. – 574 с.
2. Свободнорадикальное окисление липидов и белков – универсальный процесс жизнедеятельности организма / М. А. Луцкий [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 12. – С. 24–28.
3. Калинина, Е. В. Роль глутатиона, глутатионтрансферазы и глутатионредоксина в регуляции редокс-зависимых процессов / Е. В. Калинина, Н. Н. Чернов, М. Д. Новичкова // Успехи биологической химии. – 2014. – Т. 54. – С. 299–348.
4. Чеснокова, Н. П. Молекулярноклеточные механизмы инактивации свободных радикалов в биологических системах / Н. П. Чеснокова, Е. В. Понукалина, М. Н. Бизенкова // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 7. – С. 29–36.
5. Костюк, В. А. Биорадикалы и биоантиоксиданты / В. А. Костюк, А. И. Потапович. – Минск : БГУ, 2004. – 174 с.
6. Рязанцева, Л. Т. Ферменты-антиоксиданты: структурно-функциональные свойства и роль в регулировании метаболических процессов / Л. Т. Рязанцева // Вестн. Воронежского гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 7, № 2. – С. 126–129.
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. Современные проблемы биохимии. Методы исследований : учеб. пособие / Е. В. Барковский [и др.] ; под ред. проф. А. А. Чиркина. – Минск : Выш. шк., 2013. – С. 77–91.

Поступила в редакцию 26.01.2019

E-mail: a.volodcko2016@yandex.ru, kate_kaznelson@tut.by, olgabal.tih@gmail.com

A. S. Volodko, E. I. Katsnelson, O. M. Balaeva-Tikhomirova

ENZYME ANTIOXIDANT ACTIVITY OF THE TISSUE OF FRESHWATER PULMONARY MOLLUSCS OF THE VITEBSK AND GOMEL REGIONS

Pulmonary freshwater molluscs, the horn coil and the common pond snail are convenient test organisms for bioecological and biochemical studies in studying the effects of anthropogenic load, habitat and season on the activity of the hemolymph and hepatopancreas enzyme antioxidant system. These studies allow us to form ideas about the features of the antioxidant system of biological objects that live in water bodies under the influence of various environmental factors of varying degrees of intensity.

Keywords: *Lymnaea stagnalis*, *Planorbis corneus*, enzymatic activity, superoxide dismutase, glutathione reductase, biotesting, biomonitoring.