

БІЯЛАГІЧНЫЯ НАВУКІ

УДК 577.15:[611+594.3]

О. М. Балаева-Тихомирова¹, А. С. Володько², Е. И. Кацнельсон³, А. Д. Петроченко⁴¹Кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой химии и естественнонаучного образования, УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь²Аспирант 3 года обучения кафедры химии и естественнонаучного образования,

УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь

³Старший преподаватель кафедры химии и естественнонаучного образования

УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь

⁴Студентка 4 курса факультета химико-биологических и географических наук,

УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь

**ІСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ,
ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ТИПОМ ТРАНСПОРТА КИСЛОРОДА
ДЛЯ БІОХІМІЧНИХ І БІОЕКОЛОГІЧНИХ ІССЛЕДОВАНЬ**

В результате проведенного анализа обнаружены зависимости показателей метаболизма легочных пресноводных моллюсков от переменных среды обитания, таких как содержание ионов тяжелых металлов почвы, pH, активность каталазы почвы. Определены перспективные направления использования пресноводных гидробионтов в биоэкологических и биохимических исследованиях.

Многофакторный анализ показателей среды на уровень метаболизма у двух видов моллюсков, отличающихся по механизмам транспорта кислорода, позволяет получить дополнительную информацию для индивидуальной оценки экологического состояния водных экосистем в целом и использования в биомониторинге водоёмов.

Ключевые слова: модельные организмы, легочные пресноводные моллюски, биоэкологические и биохимические исследований, охрана окружающей среды

Введение

Биохимические и биоэкологические исследования пресноводных моллюсков как модельных организмов проводятся на базе кафедры химии и естественнонаучного образования ВГУ им. П. М. Машерова с 2017 года в рамках государственных программ научных исследований «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал» (2017–2019 годы) и «Природные ресурсы и окружающая среда» (2021–2025 годы).

Легочные пресноводные моллюски – прудовик обыкновенный (*Lymnaea stagnalis*) и катушка роговая (*Planorbarius corneus*), отличающиеся типом транспорта кислорода (медьсодержащий гемоцианин и железосодержащий гемоглобин), представляют собой универсальные тест-организмы для биоэкологических и биохимических исследований путем изучения компонентов среды обитания и их влияния на обменные процессы в организме животных [1]. Изучение действия различных факторов среды обитания на метаболизм и его регуляцию является основой для оптимизации методов биоиндикации, а совершенствование молекулярного биотестирования позволит шире использовать данные виды моллюсков для оценки биологической значимости антропогенных нагрузок на основе биохимических реакций на них живых организмов.

В Республике Беларусь в качестве модельных организмов в нейробиологии используются легочные пресноводные моллюски для изучения организации нервных центров [2; 3], процессов радиоадаптации моллюсков в загрязненных водоемах [4], роли антиоксидантных систем при действии стрессовых факторов [5], действия тяжелых металлов на жизнеспособность моллюсков [6], оценки биоэкологического состояния поверхностных вод и моделирования нарушений обмена аминокислот и глюкозы [7].

Цель нашей работы – проведение многофакторного анализа влияния переменных среды на показатели обмена веществ пресноводных гидробионтов и определение перспектив использования

легочных пресноводных моллюсков как модельных организмов для биохимических и биоэкологических исследований.

Методы и методология исследования

Оценку состояния природных водоемов Витебской области в условиях различного уровня техногенной нагрузки и изменения климата проводили с использованием многофакторного анализа.

В наших исследованиях использованы данные диагностических показателей воды, почвы и моллюсков из 5 водоемов Витебской области (Витебский район – река Витьба; Дубровенский район – озеро Вордовье; Ушачский район – озеро Дубровское; Шумилинский район – озеро Будовесть; Россонский район – озеро Селявское), которые отбирались 27 раз из каждого водоема в течение трёх сезонов (весна–лето–осень) 2019–2021 годы (по 9 проб в сезон). Общее количество исследованных проб для каждого показателя составило 135.

В ходе проведенных исследований были определены основные диагностические показатели состояния почвы и воды. Методами спектрофотометрии, капиллярного электрофореза и титриметрии были определены 18 показателей среды обитания: в воде – 12 показателей (содержание катионов Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , Ca^{2+} ; карбонатная жесткость; общая жесткость; сульфат-ионы SO_4^{2-} ; pH); в почве – 6 показателей (концентрации катионов Cu^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} и активность ферментов каталазы, уреазы, протеазы) [8; 9].

Также были исследованы 25 показателей обмена веществ спектрофотометрическими методами в тканях двух видов моллюсков *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis*: содержание общего белка, мочевой кислоты, мочевины, глюкозы, общего холестерола, холестерола липопротеинов высокой плотности, триглицеридов, а также активности супероксиддисмутазы, глутатионредуктазы, глутатионпероксидазы, аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы, гамма-глутамилтрансферазы в гемолимфе. В гепатопанкреасе изучали 12 показателей обмена веществ: содержание общего белка, ДНК, РНК, гликогена, восстановленного глутатиона, ТБК-позитивных веществ, а также активность супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионредуктазы, аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы и лактатдегидрогеназы [10].

Анализ влияния переменных среды на вышеуказанные показатели обмена веществ пресноводных гидробионтов выполнены в статистической среде R (пакеты vegan, labdsv и car) [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Статистически значимое влияние среди переменных среды на показатели липидного обмена (содержание холестерола в гемолимфе и гепатопанкреасе); углеводного обмена (концентрация гликогена в гепатопанкреасе); белкового обмена (уровень общего белка в гемолимфе); активность ферментов (аланинаминотрансферазы в гепатопанкреасе); показатели неферментативной антиоксидантной системы (содержание восстановленного глутатиона и малонового диальдегида в гепатопанкреасе) оказали pH, активность каталазы в почве, содержание Zn^{2+} в почве.

Для выбора соответствующей модели, наиболее адекватно характеризующей отношение между биохимическими показателями моллюсков и физико-химическими показателями почвы и воды, был проведен разведочный анализ. Он включал проверку на выбросы, однородность дисперсии, на соответствие закону нормального распределения, мультиколлинеарность и отношение между зависимой и независимыми переменными. Следующим этапом разведочного анализа была проверка на нормальность распределения, так как это является необходимым условием для линейных регрессионных моделей. Для проверки соответствия зависимой переменной закону нормального распределения использовался тест Шапиро-Уилка. Для выявления переменных с высоким уровнем взаимной корреляции (мультиколлинеарность) был рассчитан фактор инфляции дисперсии (Variation Inflation Factors – VIF). Для устранения этой проблемы одна или более переменных, между которыми выявлена зависимость, исключаются из анализа. В частности, в случае $VIF > 5$ (высокая корреляция) переменные должны быть исключены из анализа. При построении модели с несколькими независимыми переменными следует выяснить тип взаимосвязи каждой из них с зависимой переменной отклика, так как многие статистические анализы требуют линейных связей. Для визуализации данных взаимосвязей использованы диаграммы рассеяния [12]. В ходе разведочного анализа данных выявлено несоответствие зависимых переменных закону нормального распределения, нелинейные отношения между зависимыми и независимыми переменными, а также мультиколлинеарность отдельных независимых переменных. Это обусловило выбор обобщенной модели множественной регрессии (Generalized Linear Models – GLM) с распределением Пуассона (Poisson distribution).

Для оценки влияния физико-химических показателей воды и почвы на биохимические показатели моллюсков применен регрессионный анализ (обобщенная модель множественной регрессии Generalized Linear Models – GLM) с распределением Пуассона (Poisson distribution). Результаты представлены в таблицах 1, 2. В целях избежания мультиколлинеарности объясняющих переменных был рассчитан фактор инфляции дисперсии (VIF), который позволил выявить те из них, которые обладают высокой взаимной корреляцией. В случае $VIF > 5$ переменные исключены из анализа [11]. Переменными, использованными в моделях, были содержание ионов тяжелых металлов и активность ферментов в почве прибрежной зоны водоемов, а также физико-химические характеристики воды. Модель, наилучшим образом описывающую выявленные зависимости, выбирали методом пошагового исключения переменных, основываясь на значении информационного критерия Акаике (Akaike information criterion – AIC). Кроме того, была выполнена проверка на избыточную дисперсию (overdispersion), которая может исказить ход анализа. Если таковая была обнаружена, стандартная ошибка корректировалась выбором распределения квази-Пуассона (quasi-Poisson).

В таблицах 1, 2 приведены переменные среды, статистически значимо влияющие на показатели обмена веществ у исследованных моллюсков. У остальных переменных среды отсутствовало достоверное влияние ($p > 0,05$) на изученные показатели метаболизма гидробионтов.

Таблица 1 – Влияние переменных среды обитания на содержание ключевых показателей обмена веществ в тканях прудовика обыкновенного (*Lymnaea stagnalis*)

Показатели	Коэффициент (Estimate)	Стандартная ошибка (Standard. Error)	Значения критериев Вальда (z) и Стьюдента (t)	p-уровень
Холестерол (гемолимфа) – pH	-7,317	3,352	-2,183	*
Холестерол (гепатопанкреас) – pH	6,195	1,390	4,456	***
Гликоген (гепатопанкреас) – Zn^{2+} мг/г (почва)	2,040	0,118	17,34	***
Общий белок (гемолимфа) – Zn^{2+} мг/г (почва)	0,612	0,099	6,186	***
Общий белок (гемолимфа) – Активность каталазы cm^3O_2/g за 1 мин (почва)	-0,643	0,174	-3,691	***
Активность аланинаминотрансферазы (гепатопанкреас) – Zn^{2+} мг/г (почва)	0,753	0,307	2,455	*
Восстановленный глутатион (гепатопанкреас) – Zn^{2+} мг/г (почва)	2,004	0,151	13,24	***
Восстановленный глутатион (гепатопанкреас) – Активность каталазы cm^3O_2/g за 1 мин (почва)	-3,181	0,279	-11,39	***
Восстановленный глутатион (гепатопанкреас) – pH	-4,214	0,898	-4,694	***
Малоновый диальдегид (гепатопанкреас) – Zn^{2+} мг/г (почва)	-0,838	0,051	-16,54	***
Малоновый диальдегид (гепатопанкреас) – pH	-2,874	0,362	-7,936	***

Примечание – Уровень значимости (p): *** – меньше 0,001; * – меньше 0,05.

Таблица 2 – Влияние переменных среды обитания на содержание ключевых показателей обмена веществ в тканях катушки роговой (*Planorbarius cornutus*)

Переменная среды	Коэффициент (Estimate)	Стандартная ошибка (Standard. Error)	Значения критериев Вальда (z) и Стьюдента (t)	p-уровень
Холестерол (гемолимфа) – pH	–10,38	3,824	–2,714	**
Холестерол (гепатопанкреас) – pH	11,31	1,032	10,97	***
Гликоген (гепатопанкреас) – Zn ²⁺ мг/г (почва)	2,293	0,105	21,85	***
Общий белок (гемолимфа) – Активность каталазы см ³ O ₂ / г за 1 мин (почва)	0,286	0,047	6,094	***
Активность аланинаминотрансферазы (гепатопанкреас) – Zn ²⁺ мг/г (почва)	–0,364	0,093	–3,902	***
Активность аланинаминотрансферазы (гепатопанкреас) – Zn ²⁺ мг/г (почва)	0,524	0,190	2,761	**
Восстановленный глутатион (гепатопанкреас) – Zn ²⁺ мг/г (почва)	1,684	0,120	14,09	***
Восстановленный глутатион (гепатопанкреас) – Активность каталазы см ³ O ₂ / г за 1 мин (почва)	–2,702	0,241	–11,19	***
Восстановленный глутатион (гепатопанкреас) – pH	–5,993	0,915	–6,551	***
Малоновый диальдегид (гепатопанкреас) – Zn ²⁺ мг/г (почва)	–0,823	0,049	–16,81	***
Малоновый диальдегид (гепатопанкреас) – pH	–2,841	0,460	–6,172	***

Примечание – Уровень значимости (p): *** – меньше 0,001; ** – меньше 0,01.

Многофакторный анализ переменных показателей среды влияет на обмен веществ легочных пресноводных моллюсков и позволяет сделать следующие выводы: 1. Липидный обмен: обнаружены корреляционные зависимости – положительная зависимость содержания холестерола в гепатопанкреасе от величины pH и отрицательная корреляционная связь уровня холестерола в гемолимфе от величины pH у обоих видов моллюсков. Это может быть обусловлено тем, что биосинтез холестерола связан образованием кетоновых тел, два из которых (бета-гидроксибутират и ацетоацетат) являются кислотами, т. е. снижают значения pH. 2. Углеводный обмен: изучаемые факторы не оказали влияния на содержание глюкозы в гемолимфе. При этом содержание гликогена в гепатопанкреасе положительно коррелировало с концентрацией цинка в почве у обоих видов моллюсков. Цинк, поступающий из почвы, окружающей водоемы, способствует сохранению содержания гликогена в гепатопанкреасе обоих видов моллюсков. 3. Белковый обмен: между содержанием цинка в почве и количеством общего белка в гемолимфе выявлена прямая зависимость, а между активностью каталазы почвы и содержанием белка в гемолимфе – отрицательная связь у обоих видов моллюсков. 4. Активность ферментов: содержание цинка в почве прямо пропорционально активности аланинаминотрансферазы гепатопанкреаса у обоих видов легочных пресноводных моллюсков. Цинк почвы оказывает положительное влияние на синтез характерного для гепатоцитов фермента аланина-

минотрансферазы. 5. Антиоксидантная система: содержание цинка в почве прямо пропорционально концентрации восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе, а активность каталазы почвы и уровень pH обратно пропорциональны содержанию восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе. Снижение величины pH водной среды обитания и концентрации цинка в почве повышают активность каталазы и содержание малонового диальдегида гепатопанкреаса. Наиболее важным является положительное влияние уровня цинка почвы на содержание восстановленной формы глутатиона у моллюсков. Это указывает на готовность моллюсков обоих видов к действию прооксидантных агентов. А отрицательная корреляционная зависимость между содержанием восстановленной формы глутатиона в гепатопанкреасе обоих видов моллюсков с активностью каталазы и значениями pH водной среды обитания демонстрирует возможность буферных эффектов в системе «окисленный глутатион ↔ восстановленный глутатион». Отрицательные корреляционные зависимости от величины pH характерны для каталазы и малонового диальдегида обоих видов моллюсков (таблицы 1, 2).

Установлено, что корреляционные взаимосвязи сезонных факторов с показателями метаболизма описываются сходным характером и силой изменений у двух видов легочных пресноводных моллюсков, отличающихся молекулярным механизмом транспорта кислорода. Однако наличие гемоглобина в качестве белка-переносчика кислорода позволяет катушке роговой обладать более прогрессивными механизмами защиты организма по отношению к действию антропогенных и сезонных факторов в сравнении с прудовиком обыкновенным, у которого переносчиком является гемоцианин.

Итогом проведенного анализа стало определение экономического, социального и экологического аспектов использования в исследованиях легочных пресноводных моллюсков. Для биохимических и биоэкологических исследований целесообразно использование лабораторной культуры легочных пресноводных моллюсков катушки роговой (*Planorbarius corneus*) и прудовика обыкновенного (*Lymnaea stagnalis*) (рисунок 1).

Экономический эффект основан на том, что использование в доклинических испытаниях беспозвоночных лабораторных животных является экономически выгодным по сравнению с позвоночными животными (приблизительно в 100 раз), так как: стоимость 1-й беспородной крысы – 43 рубля; стоимость 1-й крысы чистой линии – 105 рублей; на питание и содержание крысы в виварии за 1 сутки уходит 10 рублей. Беспозвоночные лабораторные животные собираются из природных водоемов и разводятся в лаборатории (рисунок 1); содержание и разведение моллюсков возможно в сосудах с чистой водопроводной водой; питаются листьями одуванчиков (весна–лето–осень) и листьями салата (зима). На питание моллюсков в зимний период в неделю уходит около 3 рублей.

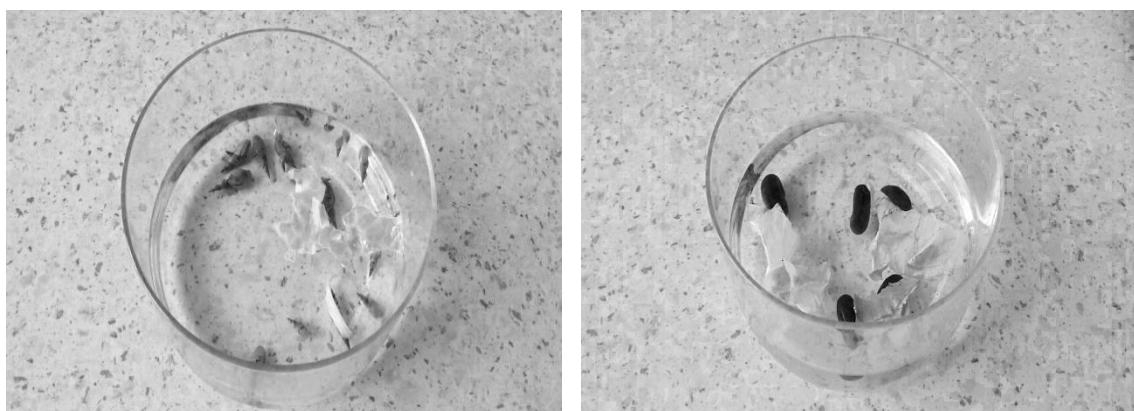


Рисунок 1 – Лабораторная культура *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis*

Социальный эффект заключается в замене в опыте, когда это возможно, высокоорганизованных позвоночных лабораторных животных менее развитыми живыми объектами. Это соответствует международной практике использования концепции 3R [reduction, refinement and replacement] – сокращения, усовершенствования и замены по отношению к экспериментированию на лабораторных животных. Сегодня принцип 3R является общепринятым мировым стандартом, позволяющим получить новый научный опыт в области создания альтернатив и в значительной степени сократить количество используемых позвоночных лабораторных животных.

Экологический эффект заключается в оценке степени антропогенного влияния на окружающую среду и живые организмы по основным диагностическим показателям, характеризующим состояние обмена веществ и антиоксидантной системы биологических объектов, что является новым и доступным подходом. Актуальность исследования заключается в применении биохимических методов оценки состояния биологических объектов, позволяющих решать текущие и перспективные экологические задачи мониторинга природных экосистем через изучение метаболизма пресноводных легочных моллюсков в норме и при избыточном уровне антропогенной нагрузке. Для этого был проведен многофакторный анализ переменных среды обитания на показатели метаболизма легочных пресноводных моллюсков *Planorbarius corneus* и *Lymnaea stagnalis*.

На основании наших исследований, а также данных по моделированию влияния солей тяжелых металлов [13], гипергликемии при воздействии стрептозотоцина [14], гипертермии [15], радиационного загрязнения среды обитания в тест-системах с легочными пресноводными моллюсками [16] нами определены перспективные направления для дальнейшего использования легочных пресноводных моллюсков как модельных тест-организмов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Перспективные направления использования пресноводных легочных моллюсков

Заключение

Оценка экологического состояния поверхностных вод с использованием обитающих в них легочных пресноводных моллюсков определяется (как минимум) величиной рН, содержанием цинка и активностью каталазы в почве, а в гепатопанкреасе пресноводных гидробионтов – содержанием холестерола, гликогена, общего белка, восстановленного глутатиона, малонового диальдегида, активности аланинаминотрансферазы. Многофакторный дисперсионный анализ ANOVA позволяет сделать выводы об экологическом состоянии водоемов.

Доказана рентабельность использования *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* и обоснована перспективность моделирования с использованием лабораторной культуры моллюсков вместо позвоночных для биоэкологических и биохимических исследований.

На основе полученных результатов будет разработан алгоритм определения экологического статуса водоёмов с использованием простых и доступных методик исследования ключевых показателей метаболизма в зависимости от трех факторов – сезона года, среды обитания и типа переносчика кислорода – на примере двух модельных организмов *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus*.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Куприянов, Р. В. Стress и аллостаз: проблемы, перспективы и взаимосвязь / Р. В. Куприянов, Р. И. Жданов // Журн. высшей нервной деятельности. – 2014. – Т. 64, № 1. – С. 21–31.
2. Сидоров, А. В. Нейромодуляторное действие пероксида водорода на центральные нейроны пищевой сети моллюска *Lymnaea stagnalis* / А. В. Сидоров // Журн. эволюц. биохим. и физиол. – 2017. – Т. 53, № 6. – С. 437–443.

3. Сидоров, А. В. Модельные организмы и клеточная организация нервных центров / А. В. Сидоров // Наука и инновации. – 2018. – № 6 (184). – С. 10–14.

4. Голубев, А. П. Динамика процессов радиоадаптации в популяциях моллюсков из водоемов Белорусского сектора зоны загрязнения ЧАЭС / А. П. Голубев // Экологический вестн. – 2012. – № 2 (20). – С. 44–57.

5. Khomich, A. S. Assessment of the joint effect of thermal stress, pollution, and parasitic infestation on the activity of antioxidative enzymes in pulmonate mollusk *Lymnaea stagnalis* / A. S. Khomich // Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal. – 2017. – № 2. – Р. 184–192.

6. Дромашко, С. Е. Влияние тяжелых металлов на большого прудовика *Lymnaea stagnalis* L. / С. Е. Дромашко, С. Н. Шевцова, А. С. Бабенко. – Минск : Белорусская наука, 2018. – 172 с.

7. Чиркин, А. А. Молекулярно-структурная гомология протеолитических ферментов : моногр. / А. А. Чиркин, О. М. Балаева-Тихомирова. – Чебоксары : Среда, 2022. – 124 с.

8. Комплексная характеристика состава природных водоемов и почв прибрежных районов как среды обитания пресноводных легочных моллюсков / Е. И. Кацнельсон [и др.] // Весн. Віцеб. дзярж. ун-та імя П. М. Машэрава. – 2019. – № 3. – С. 71–78.

9. Оценка уровня антропогенной нагрузки на водоемы периферической зоны Белорусского Поозерья / Е. И. Кацнельсон [и др.] // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. Сер. Естественные науки. – 2020. – № 3 (120). – С. 66–71.

10. Балаева-Тихомирова, О. М. Особенности обмена веществ *Lymnaea stagnalis* в зависимости от сезона года и местообитания / О. М. Балаева-Тихомирова, Е. И. Кацнельсон // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. Сер. Естественные науки. – 2018. – № 3. – С. 12–18.

11. Zuur, A. F. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. / A. F. Zuur, E. N. Ieno, C. S. Elphick // Methods. Ecol. Evol. – 2010. – Vol. 1. – Р. 3–14.

12. Сушко, Г. Г. Дисперсионный анализ с использованием программного обеспечения PAST 4.04 / Г. Г. Сушко // Весн. Віцеб. дзярж. ун-та імя П. М. Машэрава. – 2021. – № 1. – С. 64–73.

13. Балаева-Тихомирова, О. М. Действие солей тяжелых металлов на углеводный обмен тканей пресноводных легочных моллюсков / О. М. Балаева-Тихомирова, Т. А. Толкачева, Е. И. Кацнельсон // Вестн. Мозыр. гос. пед. ун-та им. И. П. Шамякина. – 2018. – № 1 (51). – С. 12–17.

14. Моделирование биохимических признаков сахарного диабета у легочных пресноводных моллюсков / А. А. Чиркин [и др.] // Новости медико-биологических наук. – 2016. – Т. 14, № 3. – С. 28–32.

15. Действие гипертермии разной продолжительности на модельные тест-организмы / А. П. Голубев [и др.] // Весн. Віцеб. дзярж. ун-та імя П. М. Машэрава. – 2017. – № 4. – С. 34–39.

16. Данченко, Е. О. Активность антиоксидантных ферментов в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного при действии однократного внешнего облучения / Е. О. Данченко, А. В. Якименко, Д. М. Бабарень // Наука – образование, производству, экономике : материалы ХХIII (70) Регион. науч.-практ. конф. преподавателей, науч. сотрудников и аспирантов, Витебск, 15 февр. 2018 г. : в 2 т. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2018. – Т. 1. – С. 53–54.

Поступила в редакцию 06.10.2023

E-mail: kate_kaznelson@tut.by

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

THE USE OF FRESHWATER MOLLUSKS DIFFERING IN THE TYPE OF OXYGEN TRANSPORT FOR BIOCHEMICAL AND BIOECOLOGICAL STUDIES

As a result of the analysis, dependences of the metabolic parameters of pulmonary freshwater mollusks on environmental variables, such as the content of heavy metal ions in the soil, pH, and soil catalase activity, have been discovered. Promising directions for the use of freshwater hydrobionts in bioecological and biochemical research have been identified.

Multivariate analysis of environmental indicators on the level of metabolism in two species of mollusks that differ in oxygen transport mechanisms allows us to obtain additional information for an individual assessment of the ecological state of aquatic ecosystems in general and use in biomonitoring of water bodies.

Keywords: model organisms, pulmonary freshwater mollusks, bioecological and biochemical studies, environmental protection.