

УДК 594.38:577.124 (476.5)

**Ольга Михайловна Балаева-Тихомирова¹,
Екатерина Иосифовна Кацнельсон², Ольга Викторовна Латышева³**
¹канд. биол. наук, доц., зав. каф. химии и естественнонаучного образования
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
²преподаватель каф. химии и естественнонаучного образования
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
³магистрант факультета химико-биологических и географических наук
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
Olga Balaeva-Tikhomirova¹, Yekaterina Katsnelson², Olga Latysheva³
¹PhD (Biology), Head of the Department of Chemistry and Natural Science Education
of Vitebsk State University named after P. M. Masherova
²Lecturer of the Department of Chemistry and Natural Science Education
of Vitebsk State University named after P. M. Masherova
³Master's Degree Student of the Faculty of Chemical, Biological and Geographical Sciences
of Vitebsk State University named after P. M. Masherova
e-mail: kate_kaznelson@tut.by

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ГЛЮКОЗЫ И ГЛИКОГЕНА В ТКАНЯХ ЛЕГОЧНЫХ ПРЕСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ, ОБИТАЮЩИХ В ВОДОЕМАХ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

*В ходе изучения и оценки динамики содержания глюкозы и гликогена в тканях пресноводных гидробионтов, обитающих в водоемах Витебской области, выполнен комплекс экспериментальных исследований, результаты которых позволяют сделать выводы о наличии в тканях моллюсков развитых физиологических систем поддержания углеводного гомеостаза. Предполагается, что сезонные изменения в содержании глюкозы и гликогена являются защитным механизмом в адаптации *L. stagnalis* и *Pl. corneus* к околонулевым температурам.*

Ключевые слова: легочные моллюски, *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, содержание глюкозы и гликогена, углеводный обмен.

Dynamics of Glucose and Glycogen Content in the Tissues of Lung Freshwater Mollusks Living in the Reservoirs of the Vitebsk Region

*In the course of studying and evaluating the dynamics of glucose and glycogen content in the tissues of freshwater hydrobionts living in the reservoirs of the Vitebsk region, the authors performed a set of experimental studies, the results of which allow us to draw conclusions about the presence of developed physiological systems for maintaining carbohydrate homeostasis in the tissues of mollusks. It is assumed that seasonal changes in glucose and glycogen content are a protective mechanism in the adaptation of *L. stagnalis* and *Pl. corneus* to nearzero temperatures.*

Key words: lung mollusks, *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*, glucose and glycogen content, carbohydrate metabolism.

Введение

Углеводы относятся к основным структурным и метаболическим соединениям в живом организме. Основным резервным веществом у животных является гликоген, который откладывается в клетках печени и при необходимости может с высокой скоростью расщепляться до глюкозы [1]. Согласно физиологическим особенностям [2] гликоген накапливается в осенний сезон перед впадением моллюсков в анабиоз и расщепляется в весенний период, когда животные выходят из анабиоза и испытывают стресс из-за недостатка кормовой базы и перепада температур, что является важным механизмом реализации глюкостатической функции этим органом.

Устойчивость моллюсков к неблагоприятным условиям, связанным со сменой сезона года, объясняется спецификой протекания реакций углеводного обмена. Установлено, что в основе краткосрочных адаптаций лежат механизмы анаэробного использования гликогена тканями моллюсков, сопровождающиеся резким снижением интенсивности обменных процессов [2].

Основными показателями углеводного обмена является концентрация глюкозы и гликогена. Изменение содержания глюкозы в гемолимфе зависит от мощности и продолжительности воздействия неблагоприятных факторов на организм. Кратковременные воздействия максимальной интенсивности могут вызывать повышение содержания глюкозы в гемолимфе за счет усиленной мобилизации гликогена печени. Длительное воздействие неблагоприятных факторов приводит к снижению содержания глюкозы в гемолимфе [3].

Среди пресноводных моллюсков наиболее удобными объектами для биохимических и физиологических исследований являются обыкновенный прудовик и катушка роговая в связи с их доступностью, несложностью идентификации и наличием литературы для анализа полученных данных. Моллюски являются высокочувствительными к загрязнению вод тяжелыми металлами и играют ведущую роль в аккумуляции и переносе химических веществ в водоемах.

Цель работы – исследовать динамику ключевых показателей углеводного обмена тканей легочных пресноводных моллюсков в зависимости от сезона года и местообитания.

Материал и методы исследования

При проведении исследований использовались два вида легочных пресноводных моллюсков – прудовик обыкновенный (*Lymnaea stagnalis*) и катушка роговая (*Planorbarius corneus*). Исследования проводились на 216 легочных пресноводных моллюсках, разделенных на две группы: 108 особей *Lymnaea stagnalis* и 108 особей *Planorbarius corneus*. Моллюски собирались из водоемов четырех районов Витебской области (таблица 1). В каждой исследовательской подгруппе содержалось по 9 моллюсков. Сбор осуществлялся в осенний (октябрь), весенний (апрель) и летний (июль) сезоны. Особи собирались вручную.

Таблица 1. – Места сбора моллюсков

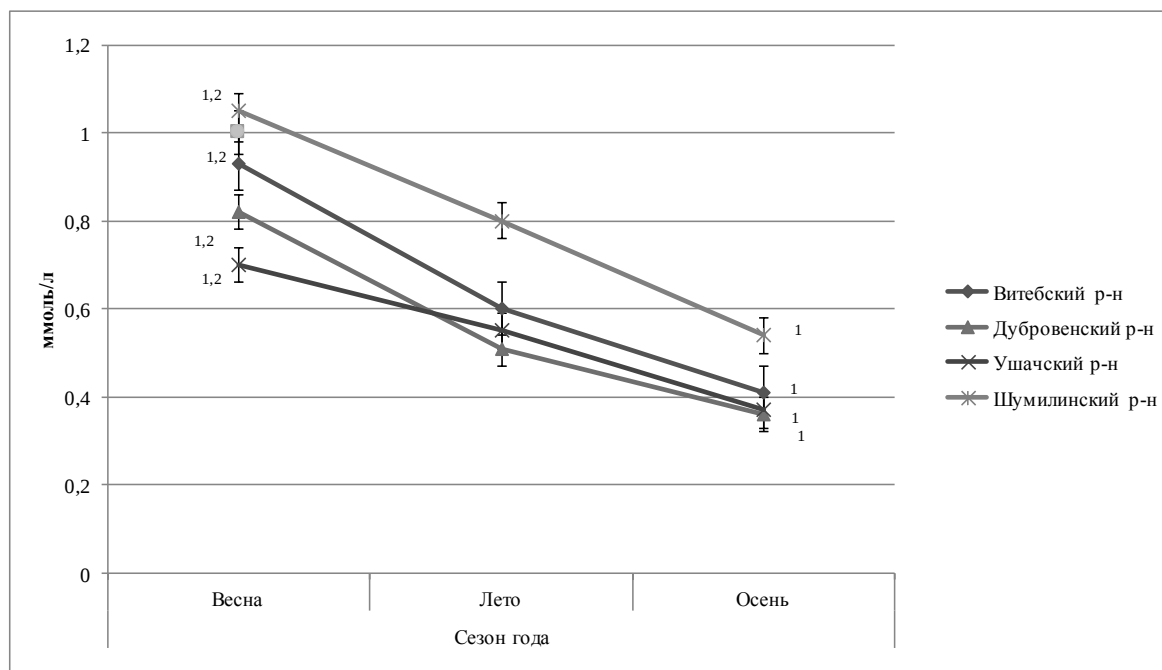
Место сбора
р. Витьба (г. Витебск)
оз. Афанасьевское (д. Шеки, Дубровенский р-н)
оз. Дубровское (д. Дубровка, Ушачский р-н)
оз. Будовесь (а/г Башни, Шумилинский р-н)

Определение глюкозы в гемолимфе проводили глюкозооксидазным методом с использованием набора реагентов НТПК «Анализ Х» [4]. Определение концентрации гликогена в гепатопанкреасе проводили методом Krisman [5].

Результаты и их обсуждение

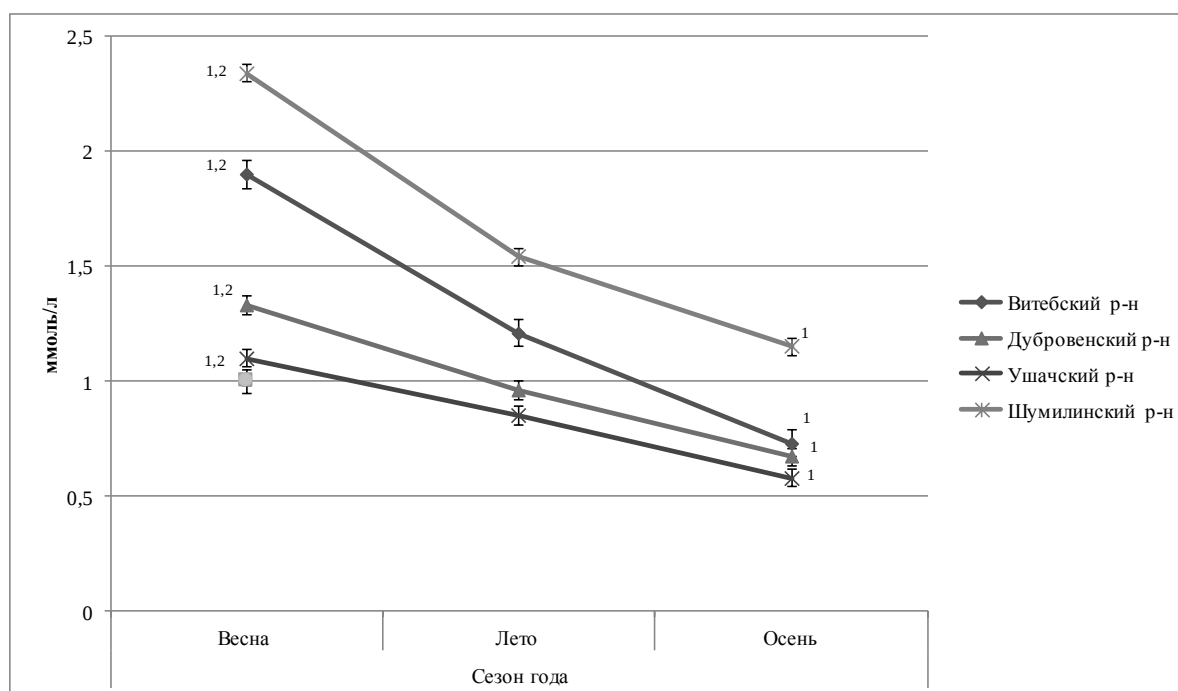
Для объективного биомониторинга с использованием живых объектов необходимо учитывать сезонные изменения в показателях метаболизма, поэтому актуальным является определение динамики ключевых показателей углеводного обмена у двух видов моллюсков, отличающихся типом транспорта кислорода, с последующей оценкой различий в антропогенном влиянии, обусловленных местом обитания. Моллюски, обитающие в водоемах Витебской области, характеризовались следующей динамикой содержания

глюкозы в гемолимфе и гликогена в гепатопанкреасе в зависимости от времени года, местообитания и молекулярных механизмов транспорта кислорода (рисунки 1–4).



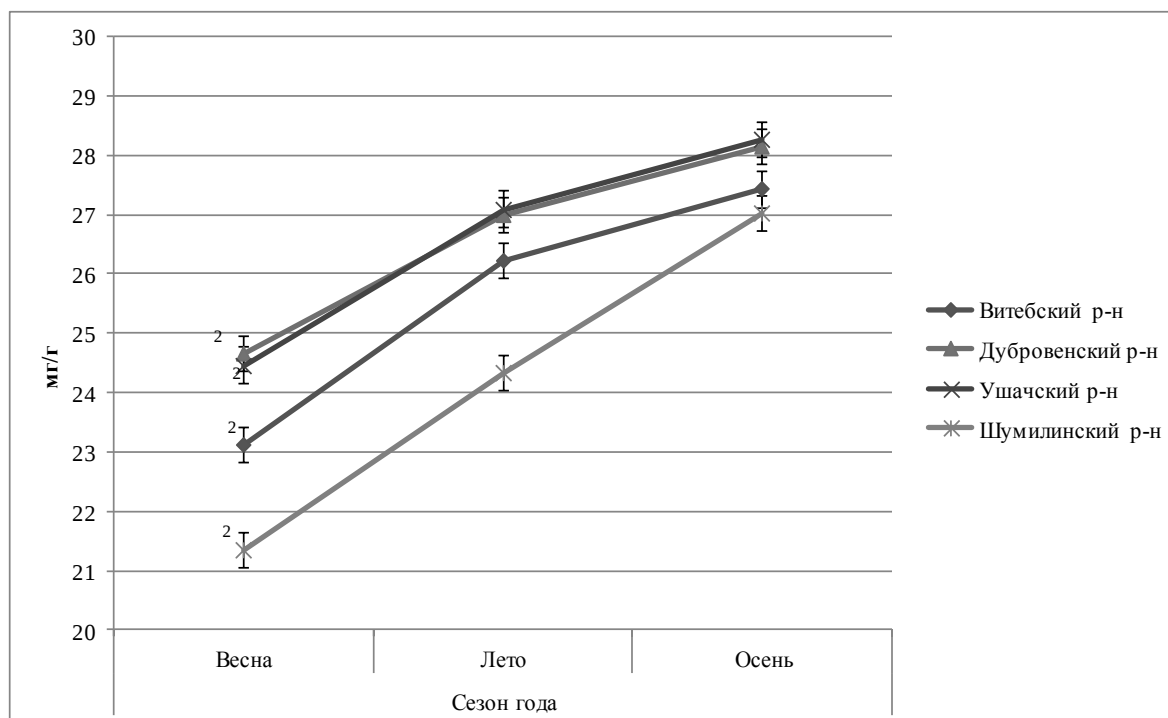
Примечание – 1 – $p < 0,05$ по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; 2 – $p < 0,05$ по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков

Рисунок 1. – Сезонная динамика содержания глюкозы в гемолимфе *L. stagnalis*, обитающих в водоемах Витебской области, ммоль/л



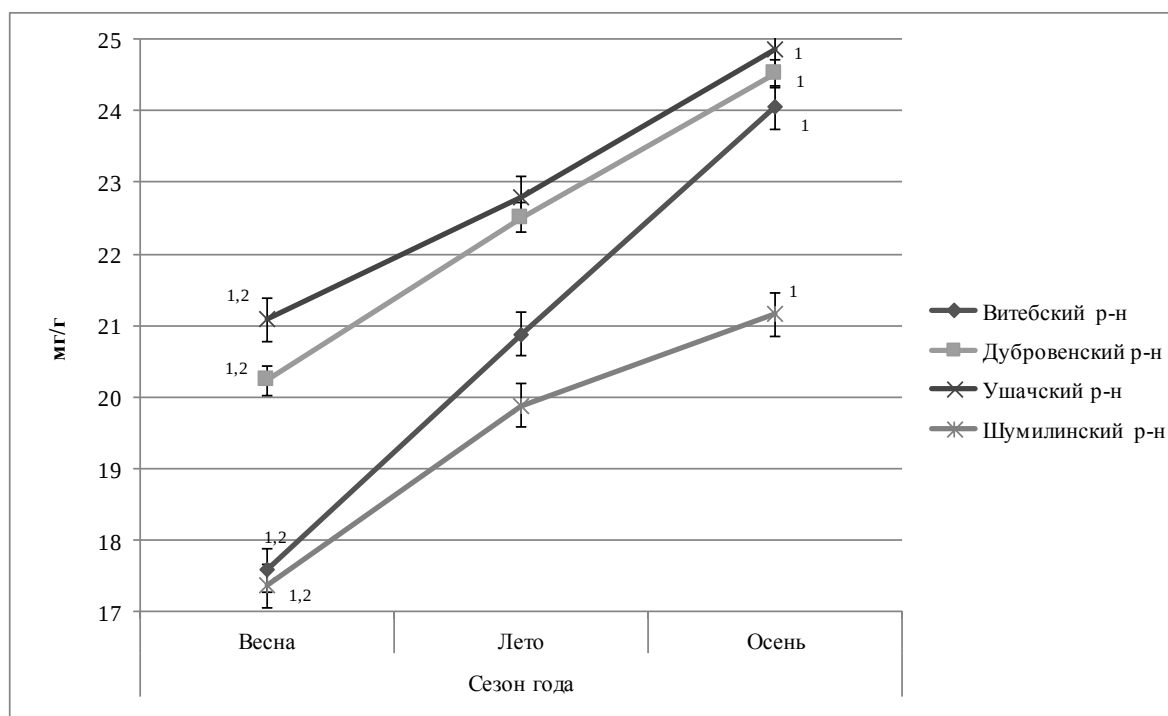
Примечание – 1 – $p < 0,05$ по сравнению с летним периодом сбора моллюсков; 2 – $p < 0,05$ по сравнению с осенним периодом сбора моллюсков

Рисунок 2. – Сезонная динамика содержания глюкозы в гемолимфе *Pl. corneus*, обитающих в водоемах Витебской области, ммоль/л



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

Рисунок 3. – Сезонная динамика содержания гликогена в гепатопанкреасе *L. stagnalis*, обитающих в водоемах Витебской области, мг/г



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

Рисунок 4. – Сезонная динамика содержания гликогена в гепатопанкреасе *Pl. corneus*, обитающих в водоемах Витебской области, мг/г

У моллюсков из р. Витьба (Витебский р-н) отмечается следующая динамика в содержании показателей углеводного обмена: по сравнению с летним периодом сбора в гемолимфе катушки роговой и прудовика обыкновенного содержание глюкозы в весенний период повышено в 1,5 и 1,6 раз соответственно. По сравнению с летним периодом сбора у *Pl. corneus* и *L. stagnalis* содержание глюкозы в осенний период понижено в 1,6 и 1,5 раза соответственно. По сравнению с осенним периодом концентрация глюкозы в гемолимфе катушки роговой и прудовика обыкновенного в весенний период повышена в 2,5 и 2,3 раза соответственно.

По сравнению с летним периодом сбора в гепатопанкреасе катушки роговой содержание гликогена в весенний период понижено в 1,2 раза. По сравнению с летним периодом сбора у *Pl. corneus* повышено содержание гликогена в осенний период в 1,2 раза.

По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в 1,4 раза. При сравнении содержания гликогена в летний сезон сбора с весенним и осенним сезонами статистически значимых отличий в содержании гликогена в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* не обнаружено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у прудовика обыкновенного в весенний период повышено в 1,2 раза.

Особенности углеводного обмена легочных пресноводных моллюсков связаны с физиологическими особенностями, а также с экологическими характеристиками исследуемых водоемов и их прибрежных зон. Река Витьба имеет выраженные признаки антропогенного воздействия. Наличие на ее берегах зон отдыха усугубляет это воздействие. На берегах и в воде реки можно наблюдать много мусора. На дне реки обнаружен черный ил, что свидетельствует о большом количестве в воде органических веществ. Вода имеет желтоватый оттенок и легкий болотный запах, что является начальными признаками эвтрофикации водоема.

У моллюсков из оз. Афанасьевское (Дубровенский р-н) зафиксированы следующие сезонные изменения в содержании глюкозы: по сравнению с летним периодом сбора у *Pl. corneus* и *L. stagnalis* содержание глюкозы в весенний период в повышено 1,3 и 1,6 раза соответственно. По сравнению с летним периодом сбора у катушки роговой и прудовика обыкновенного содержание глюкозы в осенний период понижено в 1,4 и 1,5 раза соответственно. По сравнению с осенним периодом концентрация глюкозы в гемолимфе у катушки роговой и прудовика обыкновенного в весенний период повышена в 2 и 1,9 раза соответственно.

При сравнении содержания гликогена в летний сезон сбора с весенним и осенним сезонами статистически значимых отличий в содержании гликогена в гепатопанкреасе *Lymnaea stagnalis* не обнаружено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у прудовика обыкновенного в весенний период повышено в 1,2 раза. По сравнению с летним периодом сбора у катушки роговой в содержании гликогена в весенний и осенний периоды статистически значимых отличий не установлено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в Дубровенском р-не (в 1,2 раза). В результате отмечена следующая динамика: концентрация глюкозы в гемолимфе уменьшается в последовательности весна > лето > осень, а гликогена – в обратной: осень > лето > весна.

Озеро Афанасьевское (Дубровенский р-н) подвергается сильной антропогенной нагрузке, так как используется для мелиорации земель, что приводит к загрязнению воды и береговой зоны водоема.

У моллюсков из оз. Дубровское (Ушачский р-н) отмечается следующая динамика содержания показателей углеводного обмена: по сравнению с летним периодом сбора

у прудовика обыкновенного и катушки содержание глюкозы в весенний период повышено в 1,3 раза. По сравнению с летним периодом сбора в гемолимфе двух видов моллюсков содержание глюкозы в осенний период понижено в 1,5 раза. По сравнению с осенним периодом содержание глюкозы у прудовика обыкновенного в весенний период получены статистически значимые отличия: в 1,9 и 2 раза соответственно.

При сравнении содержания гликогена в летний сезон сбора с весенним и осенним сезонами Статистически значимых отличий в содержании гликогена в гепатопанкреасе *L. stagnalis* не обнаружено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у прудовика обыкновенного в весенний период повышено в 1,2 раза. По сравнению с летним периодом сбора у катушки роговой в содержании гликогена в весенний и осенний периоды статистически значимых отличий не установлено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в Ушачском р-не в (1,2 раза).

Озеро Дубровское находится далеко от крупных промышленных центров и крупных автомагистралей, отличается чистой водой, лишенной вредных примесей.

У моллюсков из оз. Будовесь (Шумилинский р-н) зафиксированы следующие сезонные изменения в содержании глюкозы: по сравнению с летним периодом сбора у прудовика обыкновенного и катушки роговой содержание глюкозы в весенний период повышено в 1,3 и 1,5 раза соответственно.

По сравнению с летним периодом сбора у *Pl. corneus* и *L. stagnalis* содержание глюкозы в осенний период понижено в 1,4 и 1,5 раза соответственно. По сравнению с осенним периодом содержание глюкозы у прудовика обыкновенного и катушки роговой в весенний период получены статистически значимые отличия – в 1,9 и 2 раза соответственно.

По сравнению с летним периодом сбора у катушки роговой в содержании гликогена в весенний и осенний периоды статистически значимых отличий не установлено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у катушки роговой в весенний период статистически значимые отличия получены в Шумилинском р-не (1,2 раза). При сравнении содержания гликогена в летний сезон сбора с весенним и осенним сезонами статистически значимых отличий в содержании гликогена в гепатопанкреасе *L. stagnalis* не обнаружено. По сравнению с осенним периодом содержание гликогена у прудовика обыкновенного в весенний период повышено в 1,2 раза.

Озеро Будовесь (Шумилинский р-н) подвергается слабой антропогенной нагрузке, так как не используется в промышленных и сельскохозяйственных целях и в него не осуществляется сброс сточных вод.

Наиболее высокое содержание глюкозы в гемолимфе легочных пресноводных моллюсков наблюдается в оз. Будовесь (Шумилинский р-н), наименьшее – в оз. Дубровское. Сходные закономерности сохраняются и на межвидовом уровне.

Содержание гликогена в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного повышено по сравнению с катушкой роговой; данная закономерность связана с более высокой скоростью накопления гликогена и более высокой степенью приспособления к неблагоприятным факторам среды.

При изучении сезонной динамики содержания глюкозы в гемолимфе двух видов моллюсков установлено, что максимальная концентрация глюкозы фиксируется в весенний период сбора из-за распада гликогена, после выхода из анабиоза, а минимальная – в осенний период в связи с его накоплением перед впадением в анабиоз.

При изучении сезонной динамики содержания гликогена в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного были выявлены следующие закономерности: весной наблюдается низкое содержание гликогена в связи с его использованием как энергетического ресурса, а затем (в осенний период) происходит его накопление перед входом в состояние анабиоза.

Заключение

Установлено, что изменения концентрации глюкозы в гемолимфе сопряжены с изменением содержания гликогена в гепатопанкреасе моллюсков. Наиболее высокое содержание глюкозы в гемолимфе легочных пресноводных моллюсков наблюдается в оз. Будовесть (Шумилинский р-н), наименьшее – в оз. Дубровское (Ушачский р-н). Содержание гликогена в гепатопанкреасе прудовика обыкновенного по сравнению с катушкой роговой повышено; это может быть связано с более высокой скоростью накопления гликогена и более высокой степенью приспособления к факторам среды.

Содержание глюкозы в гемолимфе снижается к осеннему периоду из-за распада гликогена весной (после выхода из анабиоза) с последующим его накоплением осенью. Сезонная динамика содержания глюкозы в гемолимфе катушки роговой подвергается таким же закономерностям, как и у прудовика обыкновенного. При изучении сезонной динамики содержания гликогена в гепатопанкреасе двух видов моллюсков были выявлены следующие закономерности: весной наблюдается низкое содержание гликогена в связи с его использованием как энергетического ресурса, а затем происходит его накопление в осенний период перед входом в состояние анабиоза.

Сезонный характер изменения у моллюсков сохраняется во всех исследуемых водоемах; содержание глюкозы и гликогена не изменяется в зависимости от местообитания, что может быть связано с высокой устойчивостью моллюсков к внешним неблагоприятным факторам среды. Установлены различия в исследуемых показателях на межвидовом уровне: уровень глюкозы и гликогена у *Planorbarius corneus* по сравнению с *Lymnaea stagnalis* выше.

Таким образом, динамика содержания показателей углеводного обмена зависит особенностей физиологических процессов и местообитания, но не зависит от вида моллюсков и типа транспорта кислорода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Central regulation of glucose homeostasis / A. Tups [et al.] // Comp. Physiol. C. – 2017. – Vol. 7. – P. 741–764.
2. Каранова, М. В. Сезонные изменения содержания свободных редуцирующих углеводов жидкостей тела пресноводного моллюска *Lymnaea stagnalis* / М. В. Каранова // Изв. Рос. акад. наук. Сер. биол. – 2006. – № 4. – С. 470–475.
3. Шаденко, В. Н. Индукция экспериментальной гипергликемии у моллюска *Lymnaea stagnalis* при инкубации животных в высококонцентрированном растворе глюкозы / В. Н. Шаденко, А. В. Сидоров // Журн. Белорус. гос. ун-та. Биология. – 2019. – № 1. – С. 79–84.
4. Чикин, А. А. Липидный обмен / А. А. Чиркин, Э. А. Доценко, Г. И. Юпатов. – М. : Мед. лит., 2003. – 122 с.
5. Krisman, C. R. A method for the colometric estimation of glycogen with iodine / C. R. Krisman // Anal. Biochem. – 1962. – Vol. 4. – P. 17–23.

REFERENCES

1. Central regulation of glucose homeostasis / A. Tups [et al.] // Comp. Physiol. C. – 2017. – Vol. 7. – P. 741–764.
2. Karanova, M. V. Siezonnyje izmienienija sodierzhanija svobodnykh rieducirujushchikh ugliyvodov zhidkostej tiela priesnovodnogo molliuska *Lymnaea stagnalis* / M. V. Karanova // Izv. Ros. akad. nauk. Sier. biol. – 2006. – № 4. – S. 470–475.

3. Shadienko, V. N. Indukcija ekspierimiental'noj gipierglikiemii u molliuska *Lymnaea stagnalis* pri inkubacii zhivotnykh v vysokokoncentrirovannom rastvorie gliukozy / V. N. Shadienko, A. V. Sidorov // Zhurn. Bielor. gos. un-ta. Biologija. – 2019. – № 1. – S. 79–84.
4. Chirkin, A. A. Lipidnyj obmien / A. A. Chirkin, E. A. Docenko, G. I. Yupatov. – M. : Mied. lit., 2003. – 122 s.
5. Krisman, C. R. A method for the colometric estimation of glycogen with iodine / C. R. Krisman // Anal. Biochem. – 1962. – Vol. 4. – P. 17–23.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 04.05.2021