

УДК 594.124:591.133.32 (262.5)

Г. В. Иванович

**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГЛИКОГЕНА У МИДИЙ
MYTILUS GALLOPROVINCIALIS — ИНДИКАТОР ИХ
СОСТОЯНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ
ОБИТАНИЯ**

Изучали содержание гликогена у мидий *Mytilus galloprovincialis* в различных биотопах, на станциях с разным уровнем водообмена и антропогенной нагрузки. Показано, что содержание гликогена в теле мидий может характеризовать их состояние в связи с особенностями обитания и является индикатором условий, его определяющих.

Ключевые слова: мидии, *Mytilus galloprovincialis*, гликоген, условия обитания, репродуктивные циклы, Одесский залив.

В настоящее время проблема физиолого-биохимических индикаторов является одной из наиболее актуальных в экологической биохимии и успешно решается в Украине [12, 13].

Черноморские мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. являются одним из важнейших объектов гидробиологических исследований. Это широко распространенный массовый вид черноморских шельфовых биоценозов, а также важный объект промысла и марикультуры [5, 10, 19, 20]. Особое внимание привлекают физиолого-биохимические исследования мидий, при этом важное место занимает определение содержания гликогена в их теле, являющегося основным запасным энергетическим субстратом.

Целью данной работы было изучить содержание гликогена в теле мидий в различных районах Одесского залива и показать возможность использования этого показателя в качестве индикатора их состояния и условий обитания.

Материал и методика исследований. В 1985—1987 гг. работу проводили в Одесском заливе у м. Большой Фонтан в марихозаюстве. Пробы отбирали одновременно с подвесных коллекторов (с глубины 0,5—2,0 м) и естественных субстратов (с глубины 10,5—11,0 м). В 1991—1992 гг. исследования в марихозаюстве были продолжены. Для анализа отбирали мидий с верхней (4—5 м от поверхности), средней (6—7 м) и нижней (9—10 м) частей коллектора модульной установки «Риф».

© Иванович Г. В., 2011

В 1998 г. исследования проводили на станциях Одесского побережья в районе м. Ланжерон в зоне берегоукрепительных сооружений. Моллюсков отбирали на пяти станциях, расположенных в трех акваториях с разной интенсивностью водообмена, с глубины 1,5 м. В 2002—2003 гг. работу выполняли на станциях со свободным и ограниченным водообменом с глубины 1,5 м.

В 2007 г. исследования проводили на станциях Одесского побережья с разным уровнем антропогенной нагрузки — в районе м. Большой Фонтан и в непосредственной близости от станции биологической очистки сточных вод «Южная» (СБО «Южная»). Для исследований отбирали мидий с глубины 1,5—2,5 м.

Пробы отбирали один раз в месяц. Анализировали моллюсков с длиной створок 30—40 и 40—50 мм. В 1998—2007 гг. исследовали моллюсков с фиолетовой окраской наружного слоя раковины, поскольку они преобладают на небольших глубинах. В 1985—1998 гг. готовили общие гомогенаты из свежих мягких тканей в необходимых условиях охлаждения [17].

В 2002—2003 и 2007 гг. анализировали различные органы мидий (гонады, гепатопанкреас, жабры). У вскрытых мидий определяли пол и стадию развития гонад по свежим мазкам под микроскопом по шкале Р. Любэ [16]. Стадия 0 — период полового покоя, пол неопределим. Стадии I и II — гаметогенез до начала вителлогенеза — не разделяли в связи с трудностью выявления различий между ними на мазках. Кроме того, стадия I протекает столь быстро, что ее объединяют со стадией II, и в литературных источниках нет данных о содержании резервных веществ по двум этим стадиям в отдельности [16]. Стадия III A — преднерестовая. Стадия III B — вымет половых продуктов. Стадия III C — восстановление гонады между двумя выметами. Стадия III D — переход к половому покою.

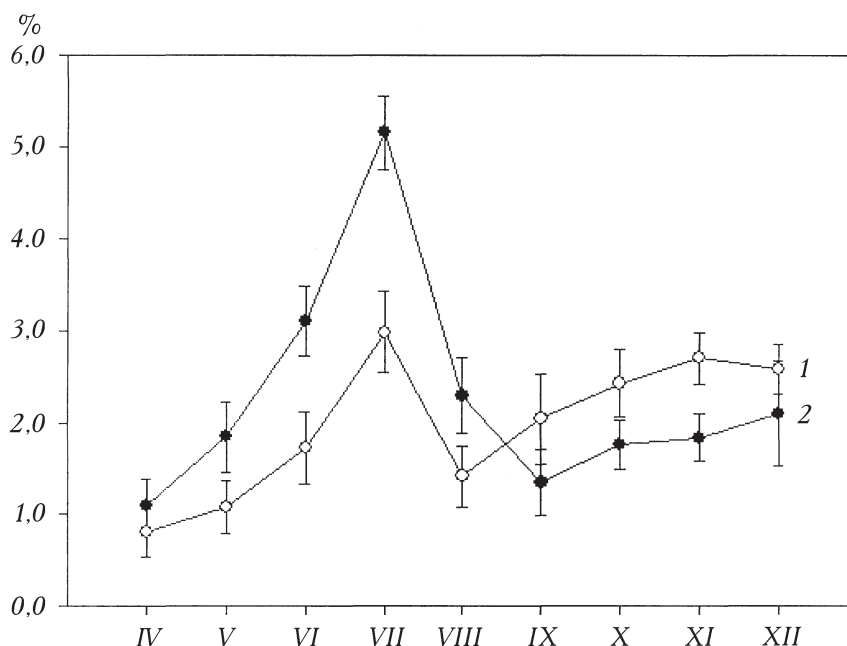
В определениях, проводимых на целом организме, брали четыре параллельные пробы. В каждую пробу входило по 12—15 экз. мидий. При анализе отдельных тканей моллюсков на одной репродуктивной стадии разбивали на пять параллельных проб, в каждую из которых входило 5—6 особей.

Содержание гликогена в теле мидий определяли по методике С. Сейфтера [17] с использованием антрона и выражали в процентах сырой массы мягких тканей. Цифровые данные обработаны методами математической статистики по Н. А. Плохинскому [6].

Результаты исследований и их обсуждение

Содержание гликогена в теле мидий в 1985 г. на коллекторах (рис. 1) значительно изменялось от апреля к ноябрю. Минимальные значения отмечены в апреле (1,10%), максимальные — в июле (5,15%), на естественных субстратах соответственно 0,81 и 2,98%. Содержание гликогена уменьшалось в конце лета и вновь увеличивалось (менее интенсивно) к осени.

Содержание гликогена у мидий естественной популяции в первой половине года было ниже ($P < 0,05$). Это может быть связано с условиями обита-

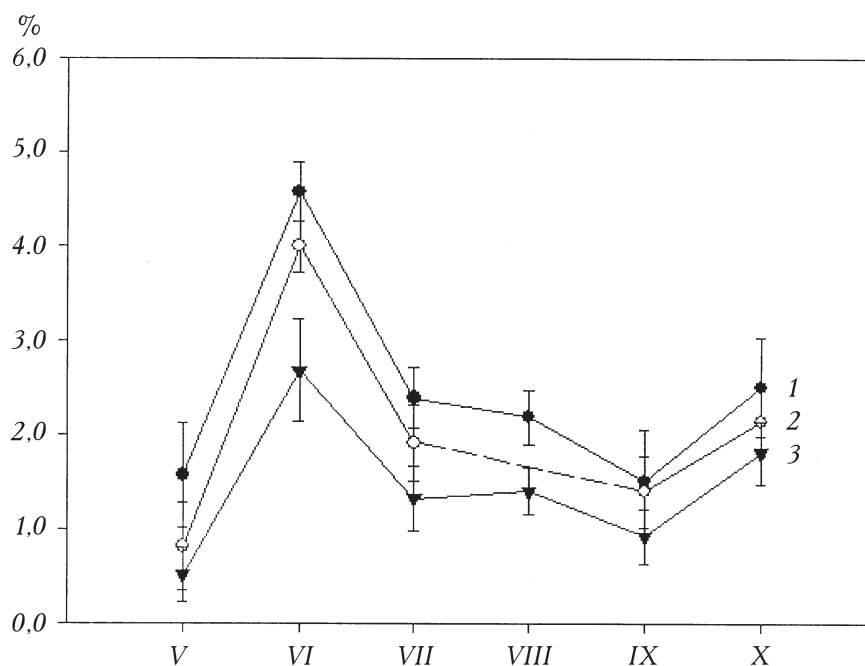


1. Содержание гликогена у мидий, выращенных на коллекторах (1), и у мидий естественных субстратов (2) в 1985 г. (здесь и на рис. 2—6 — % сырой массы). Вертикальные линии здесь и на рис. 2 и 5 отображают величины стандартных ошибок ($M \pm m$).

ния моллюсков. Содержание кислорода в зоне коллекторов в летние месяцы составляло в среднем 7,15—10,73 мг $O_2/дм^3$, а температура воды — 18,1—21,7°C, в то время как в зоне естественных субстратов эти показатели были равны 2,86—4,29 мг $O_2/дм^3$ и 13,2—17,2°C. Наряду с этим содержание гликогена у «коллекторных» мидий в летние месяцы снижалось более резко, что должно свидетельствовать о более интенсивном вымете половых продуктов. В осенние месяцы в связи с изменением гидрологического режима кислородные и температурные характеристики в зонах естественных поселений и коллекторов выравнивались, что и проявилось в близких значениях содержания гликогена у мидий из этих поселений.

В 1986—1987 гг. динамика содержания гликогена в теле мидий была сходной с динамикой в 1985 г. Отличия состояли в том, что максимальное содержание гликогена приходилось на июнь и на коллекторах было выше, чем в 1985 г. (соответственно 5,49 и 6,41%). Снижение содержания гликогена происходило раньше, чем в 1985 г. Его наименьшие значения (0,85%) в теле «коллекторных» мидий отмечены в декабре 1986 г.

Таким образом, максимальное содержание гликогена в теле мидий в 1985—1987 гг. приходилось на летние месяцы (июнь — июль), когда у моллюсков завершалось его накопление. Гликоген является важнейшим энергетическим субстратом, который используется мидиями (и двустворчатými моллюсками вообще) при недостатке кислорода за счет анаэробного гликолиза [3, 21]. Обращает на себя внимание тот факт, что насыщение воды кис-



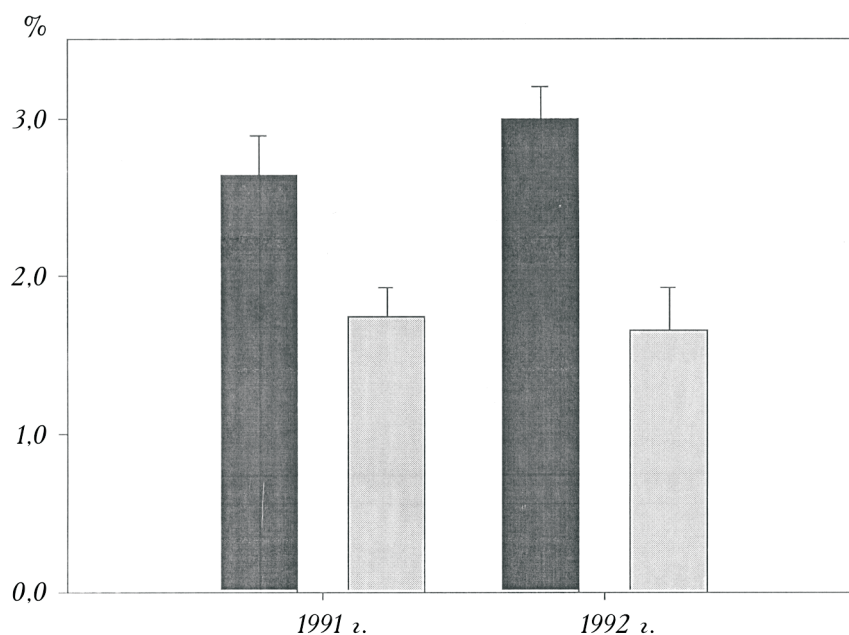
2. Содержание гликогена в мидиях, выращенных в различных частях коллектора (1 — верх, 2 — середина, 3 — низ) в 1991 г.

лородом в зоне естественных биотопов в 1985 г. составляло лишь 55—60% [1], что соответствует «предгипоксийному» состоянию моллюсков [7, 8].

Достоверно установлено, что содержание гликогена у мидий, выращенных на коллекторах в 1,8 раза выше, чем у мидий естественных субстратов, благодаря, несомненно, лучшему водообмену и кислородным условиям обитания моллюсков на коллекторах. Это также подтверждают данные о содержании гликогена у мидий из различных частей коллектора: верхней — 4,6%, средней — 4,0% и нижней — 2,7% (1991 г.); аналогичные данные получены в 1992 г. (рис. 2) [4]. Следует отметить, что содержание гликогена у мидий в наружной части друзы было выше, чем во внутренней в 1,6 раза в 1991 г. и в 1,8 раза — в 1992 г. (рис. 3) [4].

При рассмотрении данных о содержании гликогена в теле мидий в 1998 г. на прибрежных станциях, часть которых отделена волноломами от открытых участков моря и имеет ограниченный или затрудненный водообмен, было установлено, что наибольшее значение этого показателя — 4,9% наблюдалось у мидий на станции со свободным водообменом в июле. От величины водообмена зависит кислородный режим данной акватории, количество поступающих питательных веществ, а также удаление продуктов жизнедеятельности организмов.

Наиболее интенсивное снижение содержания гликогена у моллюсков к августу — сентябрю также происходило на станции со свободным водооб-

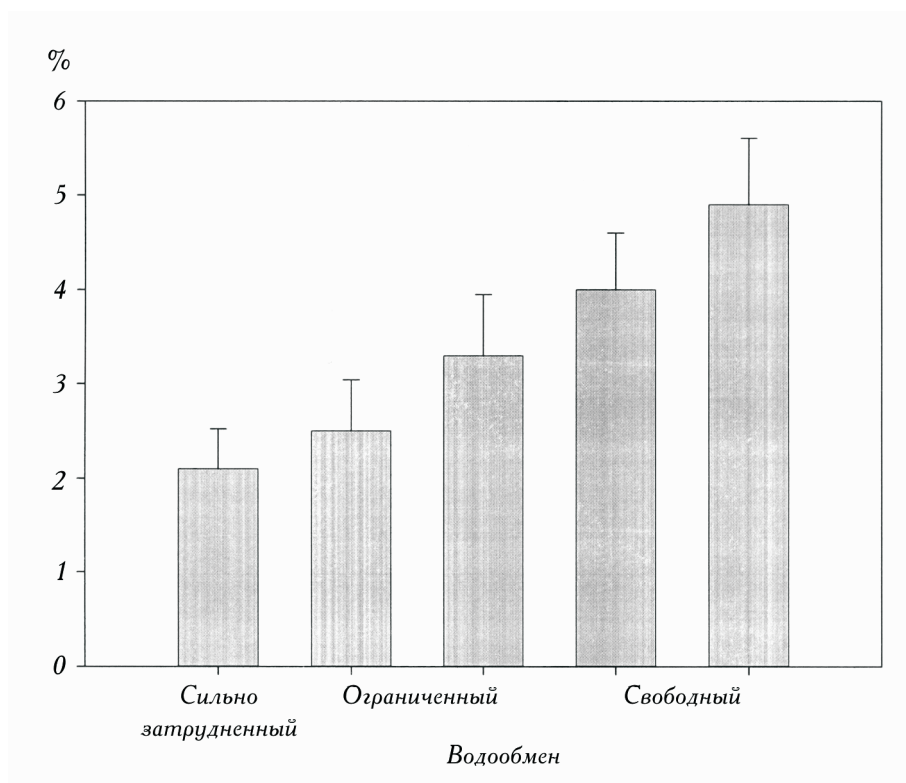


3. Содержание гликогена у мидий в наружной (1) и внутренней (2) частях друзы в 1991 и 1992 гг. Здесь и на рис. 3, 4 и 6 вертикальные линии обозначают верхние границы стандартных ошибок.

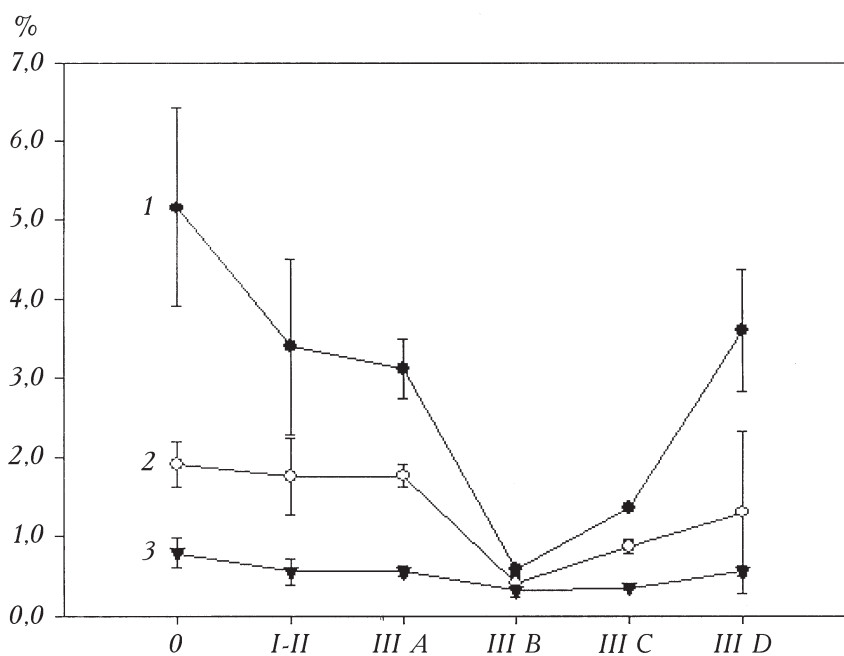
меном. Поскольку накопление и расходование гликогена связано с функциональными процессами жизненного цикла (формированием энергетических резервов, выметом половых продуктов и линейным ростом), можно говорить о том, что на станции со свободным водообменом эти процессы происходили более интенсивно, чем на станциях с затрудненным и сильно ограниченным водообменом. Содержание гликогена у моллюсков на станции с сильно ограниченным водообменом было в 2,2 раза ниже, чем на станции со свободным водообменом (рис. 4).

Интенсивность водообмена может служить интегральным показателем состояния среды, определяющим обеспеченность мидий как кислородом, так и пищей. Содержание гликогена у мидий уменьшалось от станции со свободным водообменом к станциям с затрудненным, а от них — к станции с сильно ограниченным водообменом (4,9—4,0—3,3—2,5—2,1%). Нужно отметить, что численность мидий (11,5 тыс. экз/м²), их биомасса (18,06 кг/м²) и суточный объем фильтрации (39,55 м³/сут) на станции со свободным водообменом были значительно выше, чем на станциях с затрудненным водообменом (8,03 тыс. экз/м², 6,64 кг/м² и 15,86 м³/сут) [2].

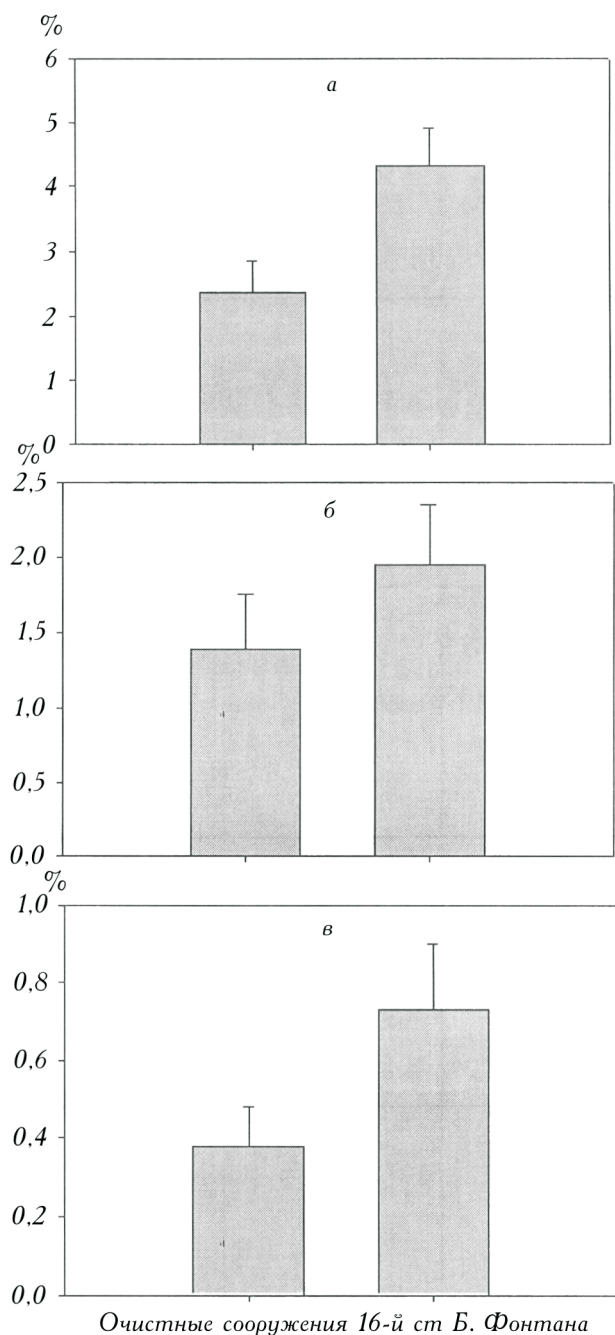
Данные о среднегодовом содержании гликогена в гонадах, гепатопанкреасе и жабрах мидий на разных стадиях репродуктивного цикла (2002—2003 гг.) на станции со свободным водообменом у м. Ланжерон представлены на графике (рис. 5).



4. Содержание гликогена у мидий на станциях с различным уровнем водообмена.



5. Содержание гликогена в гонадах (1), гепатопанкреасе (2) и жабрах (3) мидий на разных стадиях репродуктивного цикла на станции со свободным водообменом.



6. Содержание гликогена в гонадах (а), гепатопанкреасе (б) и жабрах (в) мидий в районах с разной антропогенной нагрузкой.

Динамика содержания гликогена во всех тканях мидий на станции со свободным водообменом и на станции с сильно затрудненным водообменом была сходна. В гонадах и гепатопанкреасе его содержание на станции со свободным водообменом было выше, чем на станции с сильно затрудненным. Наибольшее содержание гликогена отмечено в гонадах, наименьшее — в жабрах; гепатопанкреас занимал промежуточное положение. Наиболее высокого уровня запасы гликогена во всех органах достигали на стадии полового покоя (0) (среднегодовой показатель для гонад 5,15%). С началом оогенеза содержание гликогена в гонадах снижалось, достигая минимума (0,58%) на стадии нереста (III В), поскольку углеводы расходуются на вителлогенез, а также в небольшом количестве выводятся из организма в составе половых продуктов. На стадии восстановления гонад между двумя выметами (III С) и при переходе к половому покою (III D) с развитием везикулярных клеток гликоген накапливался вновь. В гонадах

различия в его содержании на разных стадиях были выражены наиболее сильно, менее выражены они были в гепатопанкреасе и почти не выражены в

жабрах. Необходимо отметить, что уменьшение содержания гликогена в гепатопанкреасе происходило при переходе от преднерестовой (III A) к нерестовой стадии (III B), различия в его содержании между стадией полового покоя и преднерестовой не выявлены ($P > 0,05$). Видимо, развитие гонадотропной ткани протекало за счет гликогена, накопленного в самих гонадах.

В жабрах уменьшение содержания гликогена происходило при переходе от полового покоя (0) к началу гаметогенеза (I—II). Различия между 0 и III B стадиями выявлены на обеих станциях ($P < 0,05$).

Данные о связи стадий зрелости мидий с содержанием гликогена в органах позволяют использовать этот показатель в качестве индикатора физиологического состояния моллюсков на протяжении годового цикла.

Был проведен сравнительный анализ содержания гликогена в тканях мидий, отобранных из двух точек, расположенных на расстоянии друг от друга около 2 км. Одна из этих точек находится рядом со станцией биологической очистки сточных вод «Южная», которая является мощным источником загрязнения; другая — в районе м. Большой Фонтан (условно чистая). «Южная» предназначена для очистки производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод предприятий и населения г. Одессы и является источником поступления в морскую среду нитратов, нитритов, аммонийного азота, фосфатов и органических веществ [9]. Исследовали моллюсков на стадии перехода к половому покою (III D), используя средние значения содержания гликогена за весь период исследований.

Содержание гликогена у мидий около сброса СБО «Южная» составляло в гонадах 2,37%, в гепатопанкреасе — 1,39%, а в жабрах — 0,38%. У м. Большой Фонтан соответствующие значения были равны 4,32, 1,95 и 0,73%. Таким образом содержание гликогена в органах мидий вблизи сброса очистных сооружений было соответственно в 1,7, 1,4 и 1,9 раза меньше, чем в районе м. Большой Фонтан ($P < 0,05$) (рис. 6).

Заключение

Изучение содержания гликогена в теле мидий позволяет оценить их состояние при различных условиях обитания и на разных стадиях репродуктивного цикла.

Достоинство физиолого-биохимических индикаторов состоит в том, что они не требуют специальных определений факторов среды. В качестве примера можно привести использование уровня накопления нейтральных липидов (жиров) у рыб [11, 14] или триацилглицеринов у копепод — калянусов [15, 18] для оценки такого емкого и трудно определяемого показателя, как обеспеченность их пищей. То же самое в наших исследованиях: содержание гликогена у мидий может быть использовано в качестве индикатора их состояния даже без оценки влияния факторов среды.

Установлено, что антропогенный пресс, вызванный стоком очистных сооружений СБО «Южная», отрицательно влияет на содержание гликогена в органах мидий.

Содержание гликогена может быть использовано в качестве индикатора состояния мидий при проектировании гидротехнических сооружений в целях сохранения биоты в прибрежных водах Одесского залива, а также при размещении посадочного материала в марикультуре.

**

*Досліджено вміст глікогену в тілі мідій *Mytilus galloprovincialis* Lam. у різних районах Одеської затоки, який може бути використаний як індикатор їх стану на різних стадіях статевого циклу при різних умовах мешкання. Встановлено, що вміст глікогену в тілі мідій з колекторів в 1,8 разу вищий, ніж у мідій природних субстратів; його рівень послідовно зменшується від станції з вільним водообміном (4,9%) до станції з обмеженим водообміном (2,1%). Найбільший вміст глікогену виявлено в гонадах, а найменший — у зябрах.*

**

A possibility of using the glycogen content as an indicator of the mussels state at different stages of the reproductive cycle and in different environmental conditions has been noted. The glycogen content in the mussels body grown on collectors was 1,8 times higher than in mussels of natural substrates and this level subsequently decreased from the station with free water exchange (4,9%) to the station with limited water exchange (2,1%); maximal glycogen content was in the gonads, minimal — in the gills.

**

1. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Воробьева Л.В. и др. Северо-западная часть Черного моря // Практическая экология морских регионов. Черное море. — Киев: Наук. думка, 1990. — С. 192—221.
2. Говорин И. А., Агобовский В. В., Шаццло Е. И. Мидийное обрастание гидротехнических сооружений как составляющая природного биофильтра в прибрежной зоне Черного моря // Гидробиол. журн. — 2004. — Т. 40, № 3. — С. 68—75.
3. Горомосова С.А., Шапиро А.З. Основные черты биохимии энергетического обмена мидий. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. — 120 с.
4. Иванович Г.В. Особенности содержания гликогена в мидиях, выращенных в различных частях коллектора // Доп. НАН України. — 2003. — № 6. — С. 179—181.
5. Марикультура мидий на Черном море / Под ред. В. Н. Иванова. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. — 314 с.
6. Плохинский Н.А. Алгоритмы биометрии. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. — 150 с.
7. Столбов А.Я., Вялова О.Ю. Респираторный метаболизм черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* в условиях дефицита кислорода (экспериментальные исследования) // Экология моря. — 2001. — Вып. 56. — С. 59—62.
8. Трусевич В.В., Столбов А.Я., Вялова О.Ю. и др. Особенности метаболизма черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) из различных биотопов Карадагского заповедника // Мор. екол. журн. — 2004. — Т. 3, № 1. — С. 79—85.

9. Тучковенко Ю.С., Сапко О.Ю. Оценка вклада антропогенных источников Одесского региона в загрязнении морской среды // Метеорологія, кліматологія та гідрологія: Міжвідом. наук. зб. — 2003. — Вип. 47. — С. 130—140.
10. Финенко Г.А., Романова З.А., Аболмасова Г.И. Экологическая энергетика черноморских мидий // Биоэнергетика гидробионтов. — Киев: Наук. думка, 1990. — С. 32—72.
11. Шульман Г.Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1972. — 367 с.
12. Шульман Г.Е. Физиолого-биохимическая индикация и мониторинг состояния гидробионтов Черного моря // Гидробиол. журн. — 1999. — Т. 35, № 1. — С. 42—52.
13. Шульман Г.Е. Экологическая физиология и биохимия черноморских гидробионтов в начале XXI века // Экология моря. — 2001. — Вып. 57. — С. 68—74.
14. Шульман Г.Е., Ургенко С.Ю. Продуктивность рыб Черного моря. — Киев: Наук. думка, 1989. — 188 с.
15. Юнева Т.В., Светличный Л.С., Юнев О.А. и др. Пространственная изменчивость содержания липидов у *Calanus euxinus* в связи с концентрацией хлорофилла и биомассой фитопланктона // Океанология. — 1997. — Т. 37, № 5. — С. 745—752.
16. Lubet P., Gimazane J.-P., Prunus G. Etude du cycle de reproduction de *Mytilus galloprovincialis* (Lam.) (Moll. Lamellibranche) a la limite méridionale de son aire de répartition, comparaison avec les autres secteurs de cette aire // Haliotis. — 1981. — Vol. 11. — P. 157—170.
17. Seifter S., Dayton S. The estimation of glycogen with the anthrone reagent // Arch. Biochem. Biophys. — 1950. — Vol. 25, N 1. — P. 191—200.
18. Yuneva T.V., Svetlichny L.S., Yunev O.A. et al. Nutritional condition of female *Calanus euxinus* from cyclonic and anticyclonic regions of the Black Sea // Mar. Ecol. Progr. Ser. — 1999. — Vol. 189. — P. 195—204.
19. Zaitsev Yu., Alexandrov B.G. Black Sea Biological Diversity. Ukraine // Ukrainian National Report. Black Sea Environ. Ser. — New York: UN Publications, 1998. — Vol. 7. — 351 p.
20. Zaitsev Yu., Mamaev V. Biological diversity in the Black Sea. — New York: UN Publications, 1997. — 208 p.
21. Zwaan A. de, Wijsman A. Anaerobic metabolism in Bivalvia (Mollusca). Characteristics of anaerobic metabolism // Comp. Biochem. Physiol. — 1976. — Vol. 54B. — P. 313—324.