НЕКОТОРЫЕ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИДИИ, MYTILUS GALLOPROVINCIALIS ИЗ АКВАТОРИЙ КАРАДАГА

О.И. Оскольская, В.А. Тимофеев, Д.В. Моисеев

Институт биологии южных морей НАН Украины, Севастополь

Повышение уровня эвтрофикации шельфовой части Черного моря в районе Карадагского заповедника (Копытов и др., 1985; Костенко, 1990), а также абразионные и эрозионные процессы (Оскольская, Торская, 2001) оказывают значительное влияние на формирование донных сообществ, важнейшим компонентом которых являются двустворчатые моллюски. Основными структурами, воспринимающими антропогенное загрязнение, у моллюсков-фильтраторов являются жабры. Несмотря на основополагающее значение этого полифункционального органа в жизнедеятельности моллюсков, морфофизиологические характеристики жаберного аппарата изучены недостаточно.

Целью настоящего исследования является изучение морфологических и физиологических характеристик Mytilus galloprovincialis из различных местообитаний акватории Карадага.

Известно, что основными источниками загрязнения Черного моря являются реки Крыма (41,3%) и вынос с берега (35%) (Губанов и др., 1997). Исходя из условий хозяйственного освоения прибрежных территорий, следует, что акватория Карадага подвергается загрязнению подобным образом. Можно предположить, что наибольшая антропогенная нагрузка и, как следствие, бытовое загрязнение, характерны для места впадения р. Отузка (пос. Курортное) и бухты Карадагской. Это зоны довольно интенсивной рекреации и выхода бытовых стоков. В сравнении с этими районами воды Карадагского природного заповедника можно считать условно чистыми, т. к. источники прямого загрязнения здесь отсутствуют.

Материал и методы

Сбор проб мидии, *Mytilus galloprovincialis*, проводили в августе—сентябре 2001 — 2003 годов. Были исследованы морфофизиологические характеристики *Mytilus galloprovincialis* в зависимости от глубины и уровня антропогенной нагрузки. Объектом исследования служили моллюски из 5 районов: 1 — пос. Курортное (глубина 4 м); 2 — бухта Карадагская (глубина 3 м); 3 — мидийная плантация (глубина 15 м); 4 — Золотые ворота (глубина 1, 4 и 8 м) (рис. 1).

Согласно нашим наблюдениям, наибольшему бытовому загрязнению подвержены акватории пос. Курортное и б. Карадагской.

Габитуальными показателями служили длина, ширина, высота, отношение длины створок к их высоте, площадь поверхности жабр. Нами применен универсальный, безразмерный, внемасштабный показатель приведенной удельной поверхности S_0, который равен отношению корня квадратного из площади жаберного аппарата к корню кубическому из его объема.

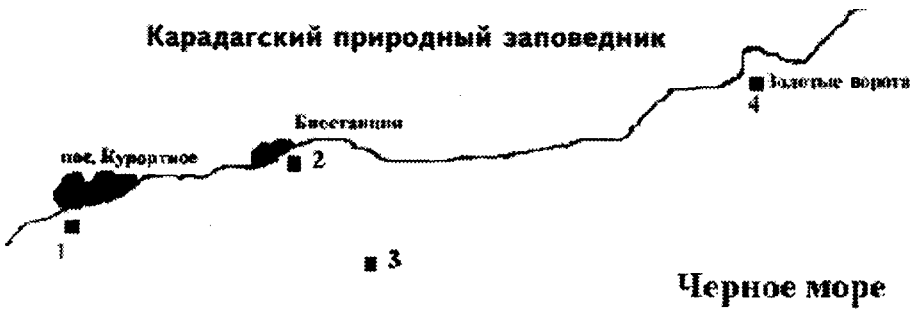

Рис. 1. Районы исследований

Показатель предложен Ю.Г. Алеевым (1972) для выделения критериев жизненных форм. Для определения S_o у живых моллюсков выделяли жабры и помещали под бинокуляр. Измерения параметров и количества жаберных филаментов (N) производили с помощью окулярной линейки. Площадь и объем жаберного аппарата находили по стандартным формулам.

Для биохимических анализов жаберную ткань фиксировали 80% ацетоном. В качестве физиолого-биохимических характеристик состояния жабр *M. galloprovincialis* выбраны показатели содержания важнейших групп веществ живых организмов: белков, липидов и углеводов — а также каротиноидов в сухой массе жабр моллюсков. Анализ проводили в пятикратной повторности с использованием комплексного метода определения биохимического состава тканей гидробионтов, разработанного в отделе морской санитарной гидробиологии ИнБЮМ (Миронов и др., 1992). Особенностью анализа является то, что все выбранные биохимические характеристики определяются из одной исходной навески ткани.

При статистической обработке данных рассчитывали стандартное отклонение (δ), а также коэффициент корреляции (r) и достоверность отличий (t_s).

Результаты и их обсуждение

Габитуальные характеристики моллюсков, жабры которых взяты на морфометрический и биохимический анализ, приведены в табл. 1. Из нее следует, что в условно чистых районах Золотых ворот и мидийной плантации с увеличением глубины от 1 до 15 метров уменьшается ширина створок относительно их длины и высоты, что выражается в снижении показателя вытянутости D/L с 0,39 до 0,34 и D/H — с 0,80 до 0,64. Полученные результаты свидетельствуют о том, что показатели вытянутости и саггитальной кривизны (H/L) (табл. 1) находятся в пределах нормы (Драголи, 1966). В загрязненных акваториях бухты Карадагской и поселка Курортное эти показатели незначительно отличаются от таковых в пробах, взятых

с аналогичной глубины из других районов исследования. Можно предположить, что фактор глубины оказывает большее влияние на формирование раковины *M. galloprovincialis*, чем загрязнение бытовыми стоками.

Таблица 1. Морфологические показатели исследованных мидий (при выборке n = 10)

№	Район	Глубина (м)	N	So	Габитуальные показатели (мм)					
					L	D	H	D/L	D/H	H/L
1	Б. Карадагская	3	4 412	19,	61,4	22,4	30,6	0,36	0,73	0,48
2	п. Курортное	4	4 164	20,	58,1	20,8	28,1	0,36	0,74	0,48
3	Золотые ворота	1	4 203	19,	62,4	24,6	31,0	0,39	0,80	0,50
4		4	4 284	19,	59,3	22,7	29,0	0,38	0,78	0,49
5		8	4 542	19,	61,9	23,3	31,2	0,38	0,75	0,50
6	Плантация	15	4 480	20,	60,3	20,6	32,0	0,34	0,64	0,53

Примечание: L — длина, H — высота, D — ширина раковины, N — число жаберных филаментов, S_0 — приведенная удельная поверхность.

Таблица 2. Концентрация каротиноидов ($C_к$), липидов ($C_л$) и белков ($C_б$) в жаберных тканях M. galloprovincialis (h — глубина, $x_{ср}$ —среднее значение, δ —стандартное откл.)

Район	h (м)	$C_к$, ‰		$C_л$, %		$C_б$, %	
		Колебания	$x_{ср.} \pm \delta$	Колебания	$x_{ср.} \pm \delta$	Колебания	$x_{ср.} \pm \delta$
Бух. Карабагская	3	0,14 – 0,17	0,16±0,008	8,9-11,3	10,8±0,76	20,8-24,1	22,7±0,76
Пос. Курортное	4	0,09-0,13	0,12±0,012	7,2-8,9	8,5±0, 52	18,8-23,0	20,9±0,84
Плантация	15	0,13-0,18	0,15±0,012	9,0-10,2	9,8±0,32	19,1-22,7	20,9±0,72
Золотые ворота	1	0,05-0,09	0,07±0,008	18,7-24,3	22,2±1,4	34,8-37,4	36,4±0,64
	4	0,10-0,15	0,13±0,012	11,4-13,6	12,8±0,56	28,5-31,8	30,0±0,72
	8	0,13-0,17	0,15±0,008	9,9-13,4	12,0±0,84	21,4-23,9	22,8±0,56

Из табл. 2 следует, что с увеличением глубины обитания с 1 до 15 м в условно чистых районах Золотых ворот и мидийной плантации концентрация каротиноидов в жаберной ткани повышается вдвое (t_s = 6,8).

В загрязненных акваториях бухты Карадагской и поселка Курортное показатели $C_к$ практически не отличаются от таковых в пробах с аналогичной глубины из «чистых» районов. В содержании липидов наблюдается обратная тенденция. Максимальных значений $C_л$ (22,2 %) достигает на глубине 1 м в районе Золотых ворот, а минимальных — в наиболее загрязненном районе пос. Курортное. Аналогичная зависимость прослеживается в отношении белков ($C_б$). Полученные нами данные согласуются с литературными (Константинов, 1986), согласно которым замедление метаболизма у глубоководных организмов носит универсальный характер, что свидетельствует о частичной компенсации ингибирующего влияния высоких давлений биологическими средствами. Известно, что у ряда гидробионтов, в частности у моллюсков, обитающих в диапазоне 1 — 900 метров,

процентное содержание белка и скорость метаболизма закономерно снижаются с увеличением глубины их местообитания.

Таблица 3. Концентрация углеводов в жаберных тканях M. galloprovincialis ($x_{ср.}$ — среднее значение; δ — стандартное откл., при выборке n = 5)

Район	h (м)	С щ/р, %		С к/г, %		С об, %	
		Колебания	$x_{ср.} \pm \delta$	Колебания	$x_{ср.} \pm \delta$	Колебания	$x_{ср.} \pm \delta$
Бух. Карабагская	3	11,7-14,9	13,28±0,648	2,8-4,1	3,02±0,168	14,4-20,0	16,30±1,48
Пос. Курортное	4	12,8-15,1	13,37±0,692	2,9-3,6	3,04±0,224	14,9-18,8	16,41±0,956
Плантация	15	14,9-16,8	15,43±0,548	3,0-5,4	3,50±0,76	17,9-20,5	18,93±0,628
Золотые ворота	1	17,4-21,0	19,82±0,968	3,9-6,4	4,54±0,744	21,5-26,8	24,36±1,144
	4	15,8-19,2	17,86±0,824	3,4-5,2	4,14±0,424	20,1-23,2	22,0±0,76
	8	12,3-15,9	14,10±0,72	2,9-4,0	3,61±0,284	16,5-19,3	17,71±0,636

В табл. 3 приведены данные по количественному содержанию углеводов в анализируемых пробах жабр мидий. Показано, что содержание щелочерастворимых (С щ/р), кислотогидролизуемых углеводов (С к/г) и их суммарное значение (Соб) снижается с увеличением глубины и уровня загрязнения мест обитания. Уменьшение концентрации гликогена, входящего во фракцию Ск/г, с глубиной и при действии токсикантов, вероятно, обусловлено возрастанием интенсивности гликогенолиза. Аналогичные данные получены при углеводородной интоксикации моллюсков в результате усиливающейся тканевой гипоксии (Миронов и др., 1992).

Обобщив данные биохимических анализов жаберных тканей мидий из различных местообитаний акватории Карадага, можно заключить, что в относительно чистых районах Золотых ворот и плантации прослеживается прямая зависимость между показателями глубины и $C_к$ (коэфф. корреляции r = 0,78), и обратная — между глубиной и $C_л$, $C_б$, $C_у$ (r =–0,81; –0,92; –0,65 соответственно).

Исключением из этой закономерности являются показатели жабр моллюсков из бухты Карадагской (3 м) и п. Курортное (4 м), что, вероятно, связано с высоким уровнем эвтрофикации. Очевидно, что фактор загрязнения, как и фактор глубины, ведет к снижению физиологической активности моллюсков. Подтверждением этого являются минимальные (относительно других местообитаний) показатели таких важнейших биохимических веществ, как $C_л$ и $C_б$ в жаберной ткани моллюсков из наиболее загрязненной акватории пос. Курортное и на глубине 15 м (плантация) (табл. 4).

Снижение этих показателей компенсируется максимальными в сравнении с другими районами значениями S_o (20,0 и 20,3 соответственно). Это подтверждает сделанные нами ранее выводы о существовании морфофизиологических адаптаций, позволяющих моллюскам, обитающим в среде, отклоняющейся от оптимальной, выравнивать снижение физиологической активности посредством увеличения рабочих площадей жабр, что отражается в росте показателя S_o (Оскольская и др., 1999). Результаты изучения относительной площади жаберных пластин у мидий на коллекторах также свидетельствуют о закономерном увеличении этого показателя с глубиной обитания в диапазоне до 18 м. Отмечено, что верхние границы относительной площади жабр у дефективных мидий, даже с редуцированными жаберными пластинками, в целом выше известных для

Таблица 4. Биохимический состав и морфометрические показатели жаберного аппарата мидий (при выборке n=10)

№	Район	h, м	$C_к$ (‰)	$C_л$ (%)	$C_б$ (%)	$C_у$ (%)	N	S_0
1	Золотые ворота	1	0,07	22,2	36,4	24,36	4 203	19,6
2	Б. Карадагская	3	0,16	10,8	22,7	16,3	4 412	19,8
3	Золотые ворота	4	0,13	12,8	30,0	22,0	4 284	19,8
4	Золотые ворота	8	0,15	12,0	22,8	15,56	4 542	19,9
5	Пос.Курортное	4	0,12	8,5	20,9	16,4	4 164	20,0
6	Плантация	15	0,15	9,8	20,9	18,92	4 480	20,3

черноморской мидии значений (Ревков и др., 1999). Приведенные данные полностью соответствуют результатам, полученным сотрудниками отдела физиологии животных ИнБЮМ А.Я. Столбовым и В.В. Трусевичем (личн. сообщ.) при изучении интенсивности дыхания мидий этих же размерных групп из совместно полученных проб. Установлено, что морфометрические показатели жабр мидий — приведенная удельная поверхность (S_o) и количество жаберных филаментов (N) — возрастают по мере увеличения глубины и степени загрязнения морских акваторий (r=0,99) (табл. 4). Можно предположить, что увеличение площади рабочих поверхностей жабр мидий компенсирует снижение физиологической активности. Показано, что существует прямая зависимость между показателями глубины и концентрацией каротиноидов, тогда как значения содержания липидов, белков и углеводов находятся в обратной зависимости от глубины в диапазоне от 1 до 15 м. Биохимические показатели жабр моллюсков из наиболее эвтрофированных районов пос. Курортное и б. Карадагской не укладываются в эти тенденции. Это свидетельствует о снижении физиологической активности моллюсков в этих акваториях. Изменения основных биохимических показателей жабр мидий из загрязненных акваторий б. Карадагской и пос. Курортное (4 м) относительно наиболее чистой акватории Золотых ворот (4 м) заключаются в повышении концентрации каротиноидов в 1,3 раза (t_s = 3,2), снижении концентрации липидов в 2-2,6 раза (t_s = 6,6), углеводов — в 1,5 раза (t_s = 3,8) и белков — в 1,5 раза (t_s = 8,1). Достоверных отличий показателя S_o и N не выявлено, что, вероятно, связано с тем, что у такого малоподвижного вида, как *M. galloprovincialis* в большей мере развиты физиолого-биохимические адаптивные реакции на изменения среды обитания. В данном случае можно говорить о наметившихся тенденциях роста S_o и N с увеличением глубины и уровня загрязнения.

Выводы

Установлено, что морфометрические показатели жабр мидий: приведенная удельная поверхность (S_o) и количество жаберных филаментов (N), — имеют тенденцию к возрастанию по мере увеличения глубины и степени загрязнения морских акваторий. Выявлено, что существует прямая зависимость между показателями глубины и концентрацией каротиноидов, тогда как значения содержания липидов, белков и углеводов находятся в обратной зависимости от глубины в диапазоне от 1 до 15 м. Биохимические

показатели жабр моллюсков из наиболее эвтрофированных районов пос. Курортное и бух. Карадагской не укладываются в эти тенденции. Это свидетельствует о снижении физиологической активности моллюсков в этих акваториях. Установлены изменения основных биохимических показателей жабр мидий из загрязненных акваторий б. Карадагской и пос. Курортное относительно наиболее чистой акватории Золотых ворот (1 м): повышение концентрации каротиноидов в 1,5 раза, снижение концентрации липидов в 2—2,6 раза, углеводов — в 1,5 раза, белков — в 1,5 раза. Разработанный комплекс биохимических и физиолого-морфологических показателей может быть рекомендован для биоиндикации морской среды, так как, в отличие от прямых измерений гидрохимических характеристик, дает представление о долговременных изменениях в шельфовой зоне Черного моря.

Благодарности. Авторы выражают благодарность администрации Карадагского природного заповедника за предоставление технической базы и специально оборудованных плавсредств, а также ведущим специалистам Института биологии южных морей НАН Украины к.б.н. А.Я. Столбову и к.б.н. В.В. Трусевичу за ценные консультации.

Литература

Алеев Ю.Г. О биогидродинамических различиях планктона и нектона // Зоол. журн. — 1972. — Т. 51. — С. 5 — 12.

Губанов В.И., Рябинин А.И., Симов В.Г. Проблемы балансовой оценки источников загрязнения Черного моря // Диагноз состояния экосистемы Черного моря и зоны сопряжения суши и морей: Сб. науч. Тр. / НАН Украины МГИ. — Севастополь — 1997. — С. 23 — 24.

Драголи А.А. К вопросу о взаимосвязи между вариациями черноморской мидии (Mytilus galloprovincialis)//Распределение бентоса и биология донных животных в южных морях. — Киев: Наукова думка. — 1966. — С. 3-15.

Константинов А.С. Общая гидробиология. — М.: Высшая школа, 1986. — 472 с.

Копытов Ю.П., Дивавин И.А., Цымбал И.М. Схема биохимического анализа гидробионтов — М., 1985. — Рукоп. Деп. ВИНИТИ, №2556. — 85 Деп. — 6 с.

Костенко Н.С. Антропогенные изменения донной растительности Карадагского заповедника // Биол. науки. — 1990. — №9. — С. 101 — 110.

Миронов О. Г., Кирюхина Л.Н., Дивавин И.А. Санитарно-биологические исследования в Черном море. — С.-Пб. — 1992. — С. 115.

Оскольская О.И., Торская А.В. Некоторые морфофизиологические характеристики Cystoseira barbata Ag. из бухты Карадагской (Юго-Восточный Крым) / Наукові записки, серия: биология, спец. выпуск: гідроэкология: Тернопольский педуниверситет. — 2001. — №3(14). — С. 146 — 147.

Оскольская О.И., Тимофеев В.А., Бондаренко Л.В. Влияние загрязнения шельфовой зоны Черного моря на морфофизиологические характеристики мидии Mytilus galloprovincialis // Экология моря. — 1999. — Вып. 49. — С. 84 — 89.

Ревков Н.К., Дивавин И.А., Мачкевский В.К., Валовая Н.А. Аномалии мидий в аквакультуре // Гидробиол. журн. — 1999. — Т. 35, — №4. — С. 53 — 62.