

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ
ИЗМЕНЕНИЯ ЖАБЕРНОГО
АППАРАТА ДВУСТВОРЧАТЫХ
МОЛЛЮСКОВ В СВЯЗИ
С УСЛОВИЯМИ ОБИТАНИЯ**

В.А. Тимофеев

Институт морских биологических
исследований им. А.О. Ковалевского РАН
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: tamplier74@mail.ru

*Проведены исследования морфологической структуры жаберного аппарата морских двустворчатых моллюсков *Mytilus galloprovincialis* Lam, *Chamelea gallina* L, *Cerastoderma glaucum* L и пресноводных *Unio stevenianus* Krynicki, *Unio pictorum* Linne, *Anodonta subcircularis* Clussin, *Anodonta stagnalis* Gmelin. из районов с разным уровнем загрязнения донных осадков. Выявлено существование компенсаторного механизма, позволяющего увеличивать интенсивность работы дыхательного аппарата в неблагоприятных условиях за счет увеличения показателя приведенной удельной поверхности жабр моллюсков.*

Введение. Одной из важных проблем в современной цивилизации является загрязнение водных экосистем. Повышенная концентрация токсичных продуктов, нефтяное загрязнение и многие другие внешние условия окружающей среды, вызванные хозяйственной деятельностью человека, оказывают негативное влияние на большинство живых организмов [1 – 3]. В экологически неблагоприятной водной среде у некоторых видов моллюсков вырабатываются механизмы приспособления к изменяющимся условиям обитания [4]. В среде, подверженной влиянию сточных вод, рост моллюсков сопровождается значительными морфологическими изменениями их раковин. В загрязнённой воде высота и ширина мидий на 4 – 9% меньше по сравнению с чистой, у моллюсков изменяются пропорции: увеличение высоты и ширины “отстает” от роста длины, замедляется рост раковин и массы [5]. Такая же тенденция наблюдается у пресноводных двустворок [6].

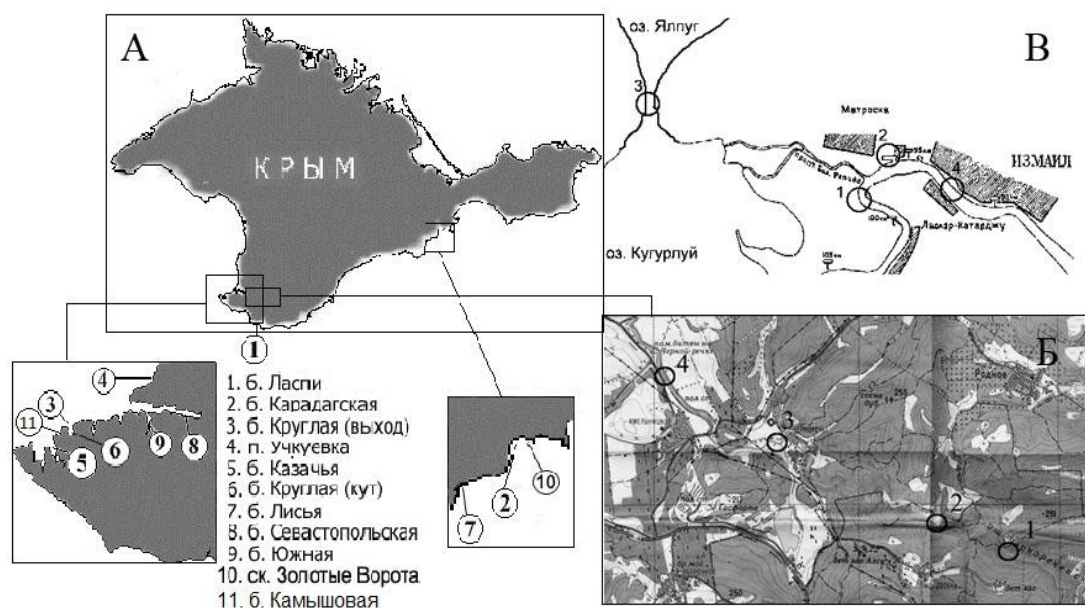
Возникшая проблема адаптации организмов к неблагоприятным условиям среды обитания изучена слабо. Такие показатели как выживаемость моллюсков, их поведенческие реакции и уровень метаболизма не позволяют в полном объеме выявить, количественно оценить негативное воздействие среды обитания на организм и получить информацию о механизмах интоксикации [7, 8]. Немногочисленные попытки некоторых авторов связать морфологические особенности жаберного аппарата двустворок [9] с экологическими факторами среды обитания не проясняют существующую проблему. Реакции организмов на возрастающее загрязнение и гетерогенность районов обитания гидробионтов требуют более подробного изучения.

Представленная статья является обобщением предыдущего материала [10 – 17]. Цель данной работы – выявить характер и степень морфологических изменений жаберного аппарата морских и пресноводных двустворчатых моллюсков-фильтраторов в связи с комплексом экзогенных факторов среды обитания.

Материал и методика. Морские двустворчатые моллюски *M. galloprovincialis*, *Ch. gallina* и *C. glaucum* собраны в бухтах Камышовая, Севастопольская, Южная, Круглая, Казачья, Ласпи, Карадагская, Лисья, в районе скалы «Золотые Ворота» и в прибрежной зоне пос. Учкучевка (рис. 1А). Пресноводных моллюсков *U. stevenianus* отбирали из различных по экологическому состоянию районов р. Чёрная (Крым) (рис. 1Б). Беззубок *A. subcircularis* и *A. stagnalis*, а также перловицу *U. pictorum* отбирали в четырех различных районах р. Дуная вблизи г. Измаил (рис. 1В).

Сбор материалов по морским двустворчатым моллюскам осуществлён в 1992 – 1996 гг. и в 2002 – 2005 гг., по пресноводным – в 1996 г. и 2001 – 2002 гг. Сбор проб *M. galloprovincialis* проводили на глубинах 1 – 15 м, и *Ch. gallina* – 4 – 7 м, *C. glaucum* – 2 – 5 м. *U. stevenianus*, *U. pictorum*, *A. subcircularis*, *A. stagnalis* отбирали с глубин 0,5 – 2 м.

У моллюсков измеряли длину (L), ширину (D), высоту (H) раковины, а также рассчитывали показатели её формы – вытянутость (H/L), сагиттальная (D/L) и фронтальная (D/H) кривизна.



Р и с. 1. Карта-схема районов исследования в акваториях Крымского побережья (А), на р. Черная (Б) и р. Дунай (В)

Для выявления изменчивости полифункциональной структуры жабр при разных условиях среды нами был использован показатель приведенной удельной поверхности жаберного аппарата S_0 , рассчитываемый по формуле

$$S_0 = \sqrt{S} / \sqrt[3]{W}, \quad (1)$$

где S – площадь поверхности жабр; W – их объем.

Биохимический состав тканей моллюсков (концентрация каротиноидов, липидов, углеводов и белков) определяли стандартными методами [18 – 20].

При оценке загрязнённости морских районов нами использованы как литературные [21 – 24], так и собственные данные, анализ которых подробно описан в нашей предыдущей статье [11]. Также были учтены показатели «нормы», максимума и минимума содержания токсикантов в донных грунтах [25, 26].

Для оценки состояния среды обитания пресноводных моллюсков были взяты пробы воды, в которых определяли содержание кислорода, фосфора по стандартным методикам [27, 28], и пробы грунта – для определения содержания органического углерода, белка и малонового диальдегида (МДА) [29]. Концентрацию полициклических и летучих углеводов легкой ароматики, сумму

углеводородов измеряли спектрометрически [30].

Результаты и обсуждение. Все исследованные морские акватории характеризуются сравнительно высоким содержанием тяжелых металлов в грунтах, отличаясь по содержанию отдельных видов поллютантов. Значительное содержание ртути, концентрация таких тяжелых металлов, как Cu , Pb , Ni , Cr , Cd в донных отложениях бухт Южная и Севастопольская свидетельствует о высоком загрязнении данных акваторий. Кроме этого, донные осадки этих акваторий обогащены органическим углеродом [11]. Бухты Лисья, Карадагская и акваторию п. Учкучевка можно отнести к районам со средним уровнем загрязнения. Наши данные о степени загрязнённости исследуемых районов согласуются со сведениями О.Г. Миронова с соавторами [21, 23] об относительно низком содержании углеводов и хлороформного битумоида в б. Ласпи, устьевых частях б. Казачья и б. Круглая, что свидетельствует о слабой загрязнённости донных осадков этих районов и их можно отнести к условно чистым регионам.

По экологическому состоянию р. Черную можно разделить на 4 района (рис. 1Б). По мере продвижения от 1-го района к 4-му наблюдается ухудшение кислородного режима, снижение

средней скорости течения реки и незначительное повышение среднесуточной температуры воды, что связано с геоморфологическими особенностями бассейна реки.

Районы исследования р. Дунай (рис. 1В) выбирали с учетом скорости течения воды и степени загрязнения осадков. Первый район представляет собой прямой участок русла Дуная, выше г. Измаил. Стоки и другие видимые источники загрязнения отсутствуют. Район 2 расположен в излучине реки, где присутствуют бытовые стоки г. Измаил. Район 3 представляет собой дельту Дуная (проточная часть озер Ялпуг и Кугурлуй). Видимые источники загрязнения отсутствуют. Четвертый район находится в плавневой части Дуная с прилегающими районами активного земледелия и воинскими частями, в донных осадках которого отмечено значительное содержание углеводов.

Морфология жаберного аппарата *M. galloprovincialis*, *Ch. gallina* и *C. glaucum* в связи с условиями обитания. Изменения показателя приведенной удельной поверхности жаберного аппарата S_0 одноразмерных особей *M. galloprovincialis*, *Ch. gallina* и *C. glaucum* коррелируют с содержанием тяжелых металлов Cd, Hg, Cu, Pb, Cr, Zn и Ni (рис. 2, 3) в донных осадках. Минимальные различия между показателями S_0 у двустворок отмечены у *M. galloprovincialis* из б. Казачья и б. Ласпи – 18,75 и 19, у *Ch. gallina* – 10,85 (б. Ласпи), у *C. glaucum* – 9,92 (б. Казачья). Максимальную степень расщепленности жабр наблюдали у *M. galloprovincialis* из кутовой части б. Севастопольской и б. Южной (21,56 и 22,94 соответственно), у *Ch. gallina* – из кутовой части б. Круглая (11,76), у *C. glaucum* – из б. Южная (11,7) и кута б. Круглая (11,26).

Изменение значений S_0 жаберного аппарата *M. galloprovincialis*, *Ch. gallina*, *C. glaucum* связано с содержанием органики и пигментов в донных осадках районов исследования (табл. 1). По мере увеличения степени загрязнения морских акваторий показатель S_0 у *M. galloprovincialis* возрастает и достигает максимума в б. Южная ($S_0 = 22,94$). Степень расщепленности жаберного аппарата *Ch.*

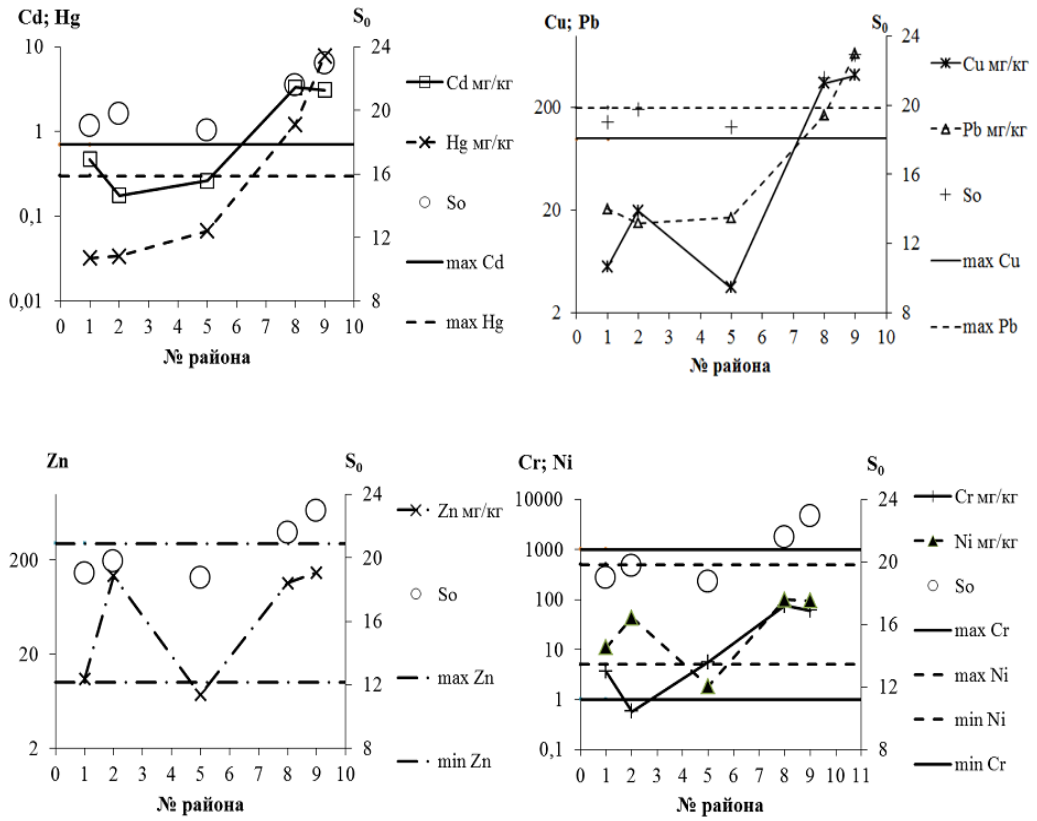
gallina из кутовой части б. Круглая на 10% выше, чем у моллюсков из относительно чистой б. Ласпи. В б. Южная у *C. glaucum* с длиной раковины 20 мм показатель S_0 составляет 11,7 (содержание органического углерода в осадках здесь достигает 3,52%, а углеводов – 15,8 мг·г⁻¹), а в бухте Казачья при той же длине – 9,92 ($C_{орг.} = 2,84\%$, углеводов – 3,5 мг·г⁻¹).

При практически не изменяющейся длине жаберного аппарата ($L_{ж}$) у моллюсков изменяется число жаберных филламентов (N). Значение $N/L_{ж}$ увеличивается с уровнем загрязнения района. Так, для моллюсков из б. Казачья это отношение равно 14 для *M. galloprovincialis* и 31 для *C. glaucum*, а для моллюсков из б. Южная – 18 и 45, соответственно. Такая же картина наблюдается для *Ch. gallina*: у моллюсков из б. Ласпи $N/L_{ж} = 27$, а в районе стока в б. Учкыевка – 45. Рост показателя $N/L_{ж}$ вызывает увеличение S_0 .

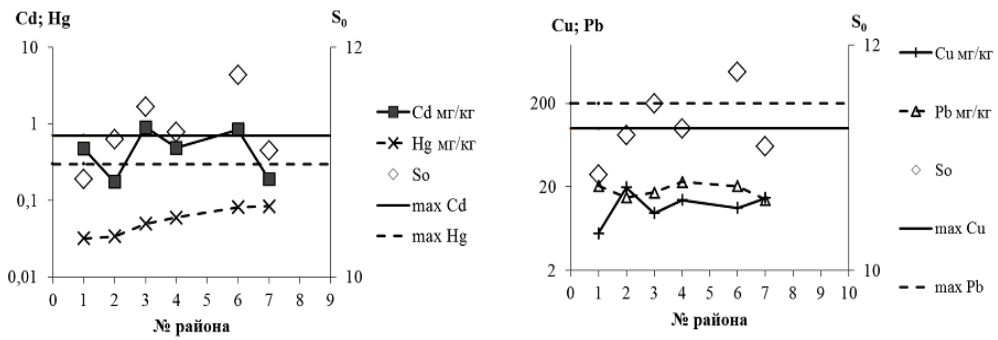
Показатель приведенной удельной поверхности (S_0) жаберного аппарата *M. galloprovincialis* в наибольшей степени связан с содержанием в грунте Cu, Pb, Ni, Cd, Zn ($r = 0,97; 0,90; 0,94; 0,91$ и $0,79$ соответственно), у *C. glaucum* – между S_0 и содержанием Ni, Cd ($r = 0,70$ и $0,80$), у *Ch. gallina* – между S_0 и содержанием Cd ($r = 0,69$). Так же наблюдалась значительная корреляция между S_0 жабр *M. galloprovincialis* и *Ch. gallina* и содержанием углеводов ($r = 0,94$ и $r = 0,70$, соответственно), в то время как у *C. glaucum* коэффициент корреляции между этими показателями был невысоким ($r = 0,56$). Связь S_0 моллюсков с пигментным индексом практически отсутствует.

Ранее нами было показано [10, 12, 13], что снижение C_k более, чем в 2 раза и C_l – в 7,6 раза у *M. galloprovincialis* по сравнению с таковыми параметрами мидий из б. Ласпи свидетельствует об изменениях метаболических процессов у моллюсков из бухт Севастопольская и Южная. Так же наблюдается снижение C_k более, чем в 7 раз и C_l – в 5,3 раза у *Ch. gallina* из наиболее загрязненной б. Камышовая по сравнению с моллюсками из условно чистой б. Ласпи.

M. galloprovincialis

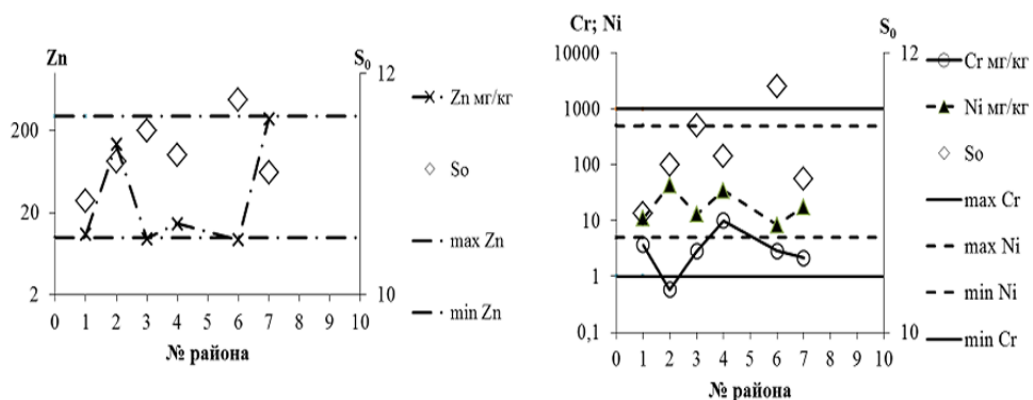


Ch. gallina

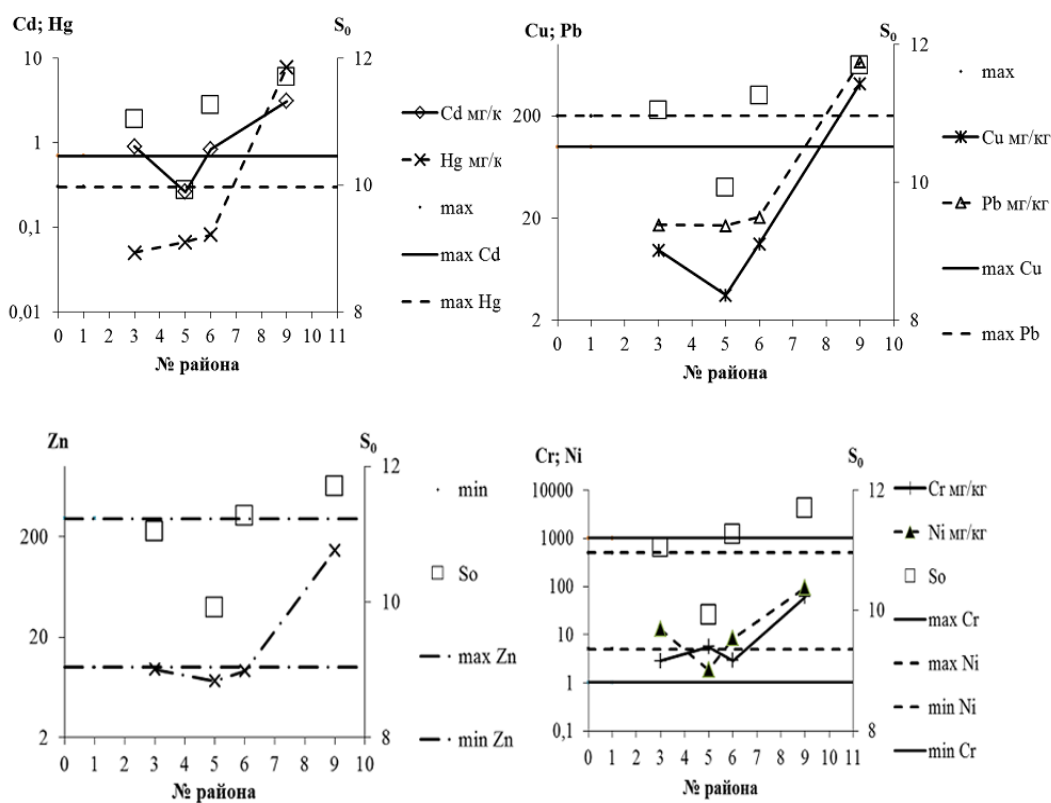


Р и с. 2. Зависимость S_0 жабр *M. galloprovincialis* и *Ch. gallina* от содержания Cd ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$), Hg ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$), Cu ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$), Pb ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$), Zn ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$), Cr ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$) и Ni ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$) в донных осадках черноморских бухт

Ch. gallina



C. glaucum



Р и с. 3. Зависимость S₀ жабр *Ch. gallina* и *C. glaucum* от содержания Cd (мг·кг⁻¹), Hg (мг·кг⁻¹), Cu (мг·кг⁻¹), Pb (мг·кг⁻¹), Zn (мг·кг⁻¹), Cr (мг·кг⁻¹) и Ni (мг·кг⁻¹) в донных осадках черноморских бухт

Содержание органического вещества в донных осадках
и показатель S_0 жаберного аппарата моллюсков (2002 – 2005 гг.)

Район	Углеводороды, мг/г	$C_{орг}$, %	Пигменты, мкг/г		Пигм. индекс $C_{кар}/C_{хл.а}$	S_0		
			$C_{хл.а}$	$C_{кар}$		<i>M. galloprovincialis</i>	<i>Ch. gallina</i>	<i>C. glaucum</i>
Лисья	0.05 ± 0.01	0.36	0.64	1.44	2.25	-	11,1	-
Ласпи	0.08 ± 0.02	1.56	0.12	0.06	0.50	19	10,85	-
Казачья	0.35 ± 0.07	2.84	7.60	2.60	0.34	18,75	-	9,92
Круглая (вых)	0.08 ± 0.02	2.68	1.68	0.22	0.13	-	11,48	11,04
Круглая (кут)	0.31 ± 0.06	2.64	1.70	0.23	0.13	-	11,76	11,26
Карадагская	0.06 ± 0.01	1.03	0.57	2.16	3.79	19,76	11,2	-
Учкуевка (сток)	0.23 ± 0.05	2.84	12.30	4.45	0.36	-	11,26	-
Севастополь- ская (кут)	1.18 ± 0.24	3.84	42.06	7.39	0.17	21,56	-	-
Южная	1.58 ± 0.32	3.52	180.60	46.25	0.26	22,94	-	11,7

Примечание: S_0 – показатель приведенной удельной поверхности жабр, $C_{орг}$ – органический углерод, $C_{хл.а}$ – хлорофилл А, $C_{кар}$ – каротиноиды

Содержание каротиноидов в жабрах *C. glaucum*, сформировавшихся в наиболее загрязненной и обедненной кислородом б. Южная, в 5,7 раза ниже по сравнению с аналогичным показателем жабр моллюсков, обитающих в относительно чистом районе (б. Казачья). Подобная тенденция отмечена и в отношении содержания в жабрах *C. glaucum* липидов, тогда как отличия в концентрации в них углеводов и белков недостоверны ($t_s = 1,75$ и $2,24$ соответственно, $p > 0,05$). Данные биохимических анализов позволяют судить о значительном снижении уровня физиологической активности двустворчатых моллюсков-фильтраторов в условиях комплексного загрязнения. При этом анализ морфологических параметров жаберных аппаратов двустворчатых моллюсков *M. galloprovincialis*, *C. glaucum*, *Ch. gallina*, обитающих в районах с разной степенью загрязнения, показал, что по мере увеличения концентрации загрязняющих веществ в донных осадках бухт происходит рост показателя S_0 .

Морфологическая характеристика жаберного аппарата беззубок *A. subcircularis*, *A. stagnalis* и перловиц *U. picturum*, *U. stevenianus* в связи с условиями обитания. Выявлено, что значения S_0 жабр

U. stevenianus из района 4 выше, чем значения S_0 у перловиц из района 1. По мере снижения концентрации кислорода и увеличения биогенных элементов в воде показатель S_0 возрастает, достигая значения 16,6 в районе 4 (рис. 4). Он достоверно отличается от S_0 жабр моллюсков из района 1 ($t_s = 4,85$, $p < 0,001$).

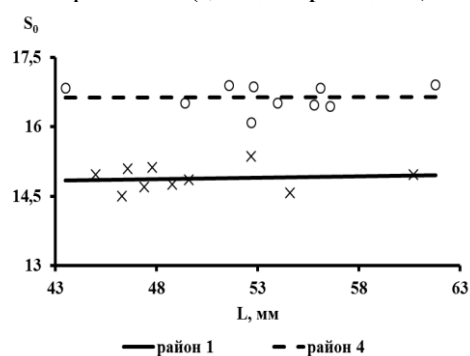


Рис. 4. Зависимость S_0 жаберного аппарата от длины раковины (L) у *U. stevenianus* из разных районов р. Черная

У *U. stevenianus*, так же как у морских двустворчатых моллюсков *M. galloprovincialis*, *Ch. gallina* и *C. glaucum*, рост значений S_0 в наиболее загрязненных районах происходит за счет увеличения длины и плотности расположения жаберных филламентов. Морфологическая пластичность жабр *U.*

stevianus, выражающаяся в увеличении степени их рассеченности при снижении концентрации липидов и каротиноидов, позволяет моллюскам адаптироваться к районам обитания с пониженным содержанием кислорода в воде и повышенным содержанием биогенных элементов.

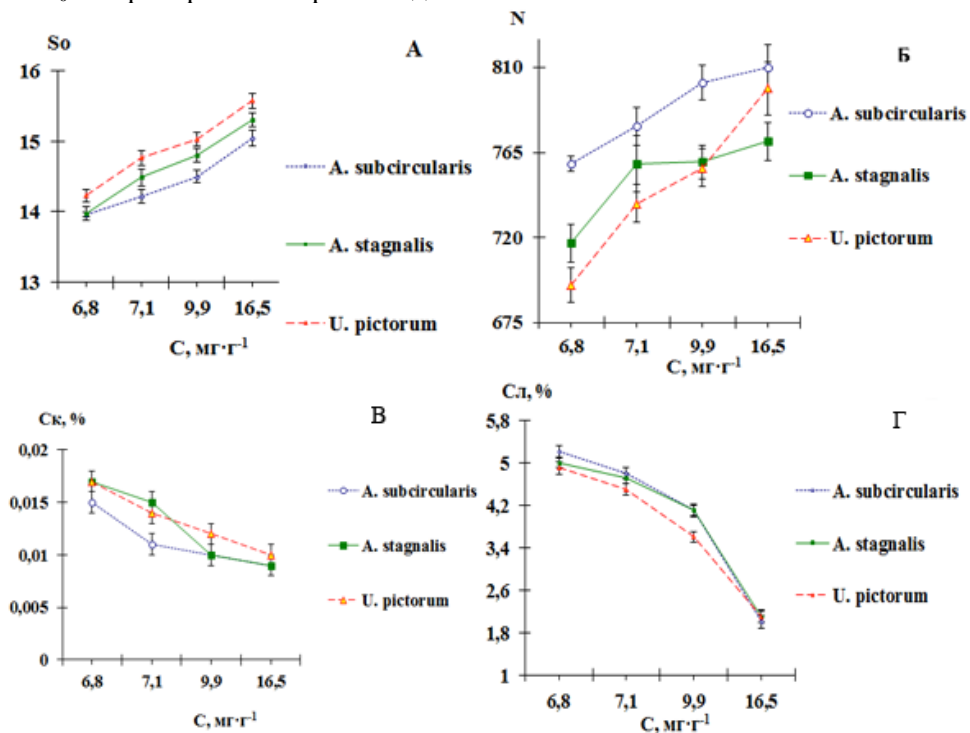
Установлено, что у беззубок *A. subcircularis*, *A. stagnalis* и перловицы *U. pictorum* из бассейна р. Дунай показатели S_0 и N с повышением концентрации углеводов в донных осадках возрастают (рис. 5 А, Б). По мере увеличения концентрации углеводов в донных осадках наблюдается снижение концентрации каротиноидов (C_k) и липидов (C_l) в жабрах изученных моллюсков (рис. 5 В, Г). Так, C_l снижается более чем в 2 раза при увеличении концентрации углеводов в среде в 2,4 раза. В большей мере снижение C_l отмечено у *A. subcircularis*. Почти в 2 раза в жабрах моллюсков из района 4 в сравнении с моллюсками из района 1 снижается концентрация каротиноидов, достигая наибольшего уменьшения у *A. stagnalis*. По мере увеличения содержания углеводов в донных осадках происходит рост N и S_0 жабр морских и пресновод-

ных двустворчатых моллюсков, что, вероятно, связано с реакцией исследованных организмов на негативные условия среды их обитания.

Выводы. Показатель приведённой удельной поверхности S_0 жаберного аппарата настоящих пластинчатожаберных и нитчатожаберных моллюсков-фильтраторов возрастает с увеличением концентрации загрязняющих веществ в донных осадках.

В загрязнённых районах – как морских, так и пресноводных – у моллюсков происходит снижение таких биохимических показателей как концентрация каротиноидов и липидов по сравнению с таковыми у моллюсков из относительно чистых районов.

Морфологическая пластичность жабр двустворчатых моллюсков-фильтраторов, выражающаяся в увеличении степени их рассеченности, при снижении концентрации липидов и каротиноидов позволяет моллюскам адаптироваться к районам обитания с пониженным содержанием кислорода в воде и повышенным содержанием биогенных элементов.



Р и с. 5. Зависимость показателя приведённой удельной поверхности жабр S_0 (А) и числа жаберных филламентов N (Б), концентрации каротиноидов C_k (В) и концентрации липидов C_l (Г) в жаберной ткани *A. subcircularis*, *A. stagnalis* и *U. pictorum* от концентрации углеводов в донных осадках

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, д.б.н., проф. Э.З. Самышеву за ценные консультации и помощь в работе, к.б.н. Оскольской О.И., м.н.с. отдела экологии бентоса ИМБИ Бондаренко Л.В. и остальным соавторам за совместный труд и ценные консультации, н.с. отдела функционирования морских экосистем ИМБИ Копытову Ю.П. – за токсикологический анализ донных осадков в районах исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kriel G.P., Taylor J.C., Van Rensburg L. Biological indicators of water quality in an urban waterway: Can diatoms reflect short term spatial and temporal changes in water quality? // Conf. Abstract Book. – Irkutsk, 2006. – P. 78.
2. Куриленко В.В., Осмоловская Н.Г. Биоиндикаторная роль высших растений при диагностике загрязнений водных экосистем на примере малых водоемов г. Санкт-Петербурга // Водные ресурсы. – 2007. – № 6. – С. 757–764.
3. Carew Melissa E., Pettigrove Vincent, Cox Renee L. The response of Chironomidae to sediment pollution and other environmental characteristics in urban wetlands // Freshwater Biol. – 2007. – № 12. – P. 2444–2462.
4. Бедова П.В., Колупаев Б.И. Использование моллюсков в биологическом мониторинге состояния водоемов // Экология. – 1998. – № 5. – С. 410–411.
5. Дехта В.А., Каталевский Н.И. Содержание химических элементов в раковинах и изменчивость их формы у мидии *Mytilus galloprovincialis* прибрежной зоны Черного моря // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоёмов Азово-Черноморского бассейна (1996-1997): сб. науч. тр. АЗНИИРХ. – Ростов на/Д., 1998. – С. 312–319.
6. Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков // АН СССР. Труды Зоол. Ин-та. – Л.: Наука, 1981. – Т. 96. – 247 с.
7. Дивавин И.А., Копытов Ю.П. Динамика изменений биохимического состава отдельных органов мидий *Mytilus galloprovincialis* при интоксикации соляром // Экология моря: респ. межвед. сб. науч. тр. – Киев, 1986. – Вып. 24. – С. 102–110.
8. Дивавин И.А., Копытов Ю.П., Белойваненко В.Н. Обменные процессы в тканях мидий в период адаптации к углеводородной интоксикации и изменениям условий среды обитания // Известия Академии Наук СССР. Серия биологическая. – 1989. – № 2. – С. 204–214.
9. Jorgensen C.B., Riisgard H.U. Gill pump characteristics of the fust clam *Mya arenaria* // Mar. Biol. – 1988. – Vol. 99, no 1. – P. 107–109.
10. Оскольская О.И., Тимофеев В.А., Бондаренко Л.В. Влияние загрязнения шельфовой зоны Черного моря на морфофизиологические характеристики мидии *Mytilus galloprovincialis* Lmk. // Экология моря: сб. науч. тр. – Севастополь, 1999. – Вып. 49. – С. 84–89.
11. Тимофеев В.А., Копытов Ю.П., Самышев Э.З. Морфология жаберного аппарата двустворчатых моллюсков в связи с загрязнением донных осадков // Морской экол. журнал. – 2009. – Т. 8. – № 3. – С. 41–52.
12. Тимофеев В.А., Оскольская О.И. Сравнительная характеристика степени рассеченности жаберного аппарата *Chamelea gallina* L. // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. – 2005. – Спец. вип. “Гідроекологія”, № 4 (27). – С. 245–247.
13. Тимофеев В.А., Оскольская О.И. Морфофизиологическая характеристика двустворчатого моллюска *Cerastoderma glaucum* L. из разных по экологическому состоянию акваторий Севастополя // Системы контроля окружающей среды: Средства и мониторинг. – Севастополь, 2005. –

- С. 305–309.
14. *Оскольская О.И., Тимофеев В.А.* Зависимость развития жаберной поверхности *Unio pictorum* Linne и *Anodonta stagnalis* Gmelin от содержания углеводов в грунтах // Другий з'їзд гідроекологічного товариства України: тези доповідей (Київ, 27–31 жовтня 1997 р.). – Київ, 1997. – Т. 2. – С. 91.
 15. *Тимофеев В.А.* Оценка действия загрязнения морской среды на морфологические показатели *Bivalvia* // Экология моря: сб. науч. тр. – Севастополь, 2005. – Вып. 68. – С. 88–92.
 16. Пат. 99073833 UA. МПК 6 G01N33/18, A01K61/00. *Оскольская О.И., Тимофеев В.А., Бондаренко Л.В.* Спосіб визначення токсичності морської води // Патент України № 34783. 2001. – Бюл. № 2.
 17. *Оскольская О.И., Нестерова Р.А., Тимофеев В.А.* Влияние хозяйственной деятельности на морфофизиологические характеристики *Unio stevenianus* на разных участках реки Черной (Западный Крым) // Вісник Житомирського педагогічного університету. – 2002. – Вип. 10. – С. 179–181.
 18. *Фритц Дж., Шенк Г.* Количественный анализ. – М.: Мир, 1978. – 558 с.
 19. *Полевой В.В., Максимов Г.Е.* Методы биохимического анализа растений. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 192 с.
 20. *Копытов Ю.П., Дивавин И.А., Цымбал И.М.* Схема комплексного биохимического анализа гидробионтов // Рациональное использование ресурсов моря – важный вклад в реализацию продовольственной программы: материалы конф. / АН УССР, Ин-т биологии южных морей им. А.О. Ковалевского. – Севастополь, 1985. – Ч. 2. – С. 227–231. – Деп. в ВИНТИ 16.04.85, № 2556 – 85.
 21. *Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Дивавин И.А.* Санитарно-биологические исследования в Черном море. – Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1992. – 115 с.
 22. *Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты в условиях антропогенного воздействия (по наблюдениям 1998-1999 гг.) / Е.И. Овсяный, Р.Б. Кемп, Л.Н. Репетин [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины и др. – 2000. – С. 79–103.*
 23. *Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В.* Санитарно-биологические аспекты экологии севавтопольских бухт в XX веке. – Севастополь: ИнБЮМ НАН Украины. ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 185 с.
 24. *Чепыженко В.А., Оскольская О.И.* Морфо-физиологический отклик представителей макрофитобентоса на параметры среды обитания // Экология: проблемы, решения – молодежное видение. – Севастополь, 2004. – Вып. 1. – С. 91–99
 25. *Lindsay W.L.* Chemical equilibria in soils. – New York: Wiley and Sons. – 1979. – 449 p.
 26. PTS limits and levels of concern in the environment, food and human tissues // *Niederlandische Liste. Atlanten Spektrum* 3/95. – 1995. – Is. 3. – P. 29–32. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.amap.no/documents>. (дата обращения: 17.03.2009).
 27. *Орадовский С.Г.* Руководство по методам химического анализа вод. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 208 с.
 28. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 375 с.
 29. *Современные методы в биохимии / под ред. В.Н. Ореховича.* – М.: Медицина, 1977. – С. 64–68.
 30. *Коренман Н.М.* Фотометрический анализ. Методы определения органических соединений / *Н.М. Коренман.* – Изд. 2-е, пер. и доп. – М., 1975. – Гл. 10. – Определения по собственному поглощению света. – С. 316–330.