



УДК 594.1: 591.4: 628.19 (262.5)

В. А. Тимофеев, м.н.с., **Ю. П. Копытов**, н.с., **Э. З. Самышев**, д.б.н., зав. отделом

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальная академия наук Украины, Севастополь, Украина

МОРФОЛОГИЯ ЖАБЕРНОГО АППАРАТА ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В СВЯЗИ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ДОННЫХ ОСАДКОВ

Исследована морфологическая структура жаберного аппарата *Mytilus galloprovincialis*, *Chamellea gallina*, *Cerastoderma glaucum* из прибрежных акваторий Крыма с разным уровнем загрязнения донных осадков. Выявлено существование компенсаторного механизма, позволяющего увеличивать интенсивность работы дыхательного аппарата в пессимальных условиях за счёт увеличения показателя приведённой удельной поверхности (S_0). Ингибирование физиологического состояния моллюсков компенсируется повышением степени расчлененности жабр, что способствует выравниванию интенсивных обменных процессов.

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, загрязнение среды, адаптация.

Двустворчатые моллюски, обладая высокой плодовитостью, являются массовыми компонентами донных ценозов, выполняющими функцию биофильтра, и, тем самым, способствующими кондиционированию морской среды, трансформации органических и минеральных соединений [4]. Удаляя из воды компоненты загрязнений, большинство двустворчатых моллюсков обладают, тем не менее, высокой устойчивостью к токсикантам, в связи с чем могут использоваться при мониторинге состояния среды [8].

Жабры моллюсков, как и ассимилирующие органы растений, являются адсотрофными структурами, сформировавшимися в процессе габитуально-морфологических адаптаций на генетическом уровне. Их сложная структурная организация позволяет выполнять как дыхательную, так и трофическую функцию [19]. Гемоглобин жаберных филаментов обуславливает перенос сульфидов к бактериальным симбионтам и поглощение аминокислоты из воды [2].

Как известно, важными компонентами современного антропогенного загрязнения яв-

ляются тяжёлые металлы и нефтеуглеводороды. Исследованиями, проведенными на молекулярном, клеточном и организменном уровнях установлено, что тяжёлые металлы усваиваются гидробионтами в основном из воды, а не из пищи, и накапливаются преимущественно в жабрах моллюсков [17]. Высокая чувствительность жабр к действию углеводородов, вероятно, можно объяснить тем, что они первыми вступают в контакт с этими загрязнителями. Следствием такого воздействия является повреждение тканей и нарушение газообмена [3]. Но при этом действие углеводородной интоксикации у моллюсков проявляется неоднозначно на разных уровнях организации [6].

Основной целью данной работы является определение морфологической пластичности жаберного аппарата двустворчатых моллюсков в связи с содержанием загрязняющих веществ в донных осадках. В процессе исследования учитывался тот факт, что такие показатели как выживаемость, поведенческие реакции, уровень метаболизма и др. не позволяют в полном объеме выявить и количественно оценить воздействие тех или иных факторов среды

на организм, а тем более судить о механизме и

Материал и методы. Отбор материала осуществляли в 1992 – 1996 и 1999 – 2005 гг. с глубин 3 – 8 м в бухтах Южная, Севастопольская, Круглая, Камышовая, Казачья, Ласпи, в районе Учкучевки, в акватории Карадагского природного заповедника – бухтах Карадагская и Лисья, а также в районе Золотых Ворот. В каждом районе пробы отбирали в нескольких точках (рис. 1).

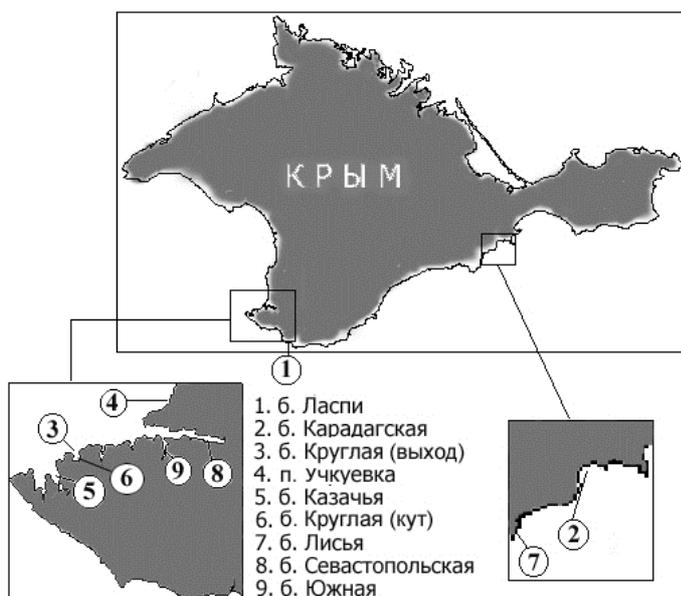


Рис. 1 Схема районов исследования.
Fig. 1 Scheme of researched areas

Объектами исследований служили морские двустворчатые моллюски-фильтраторы: *Mytilus galloprovincialis* (длина раковины 62 – 63 мм), *Chamellea gallina* (17 – 18 мм), *Cerastoderma glaucum* (20 – 21 мм).

Для оценки уровня загрязнения в этих же точках пластиковой трубкой отбирали пробы донных осадков. Грунт помещали в полиэтиленовые пакеты и доставляли в лабораторию, где его наносили тонким слоем на стекло и высушивали при комнатной температуре до воздушно-сухого веса. После измельчения в агатовой ступке до пудрообразного состояния пробу разделяли на три части. В первой из них после экстракции смесью Фолча (хлороформ : метанол в соотношении 2:1 по объёму) спектрофотометрически определяли содержание

степени интоксикации.

каротиноидов и хлорофилла «а» по [5]. После удаления растворителя на ротационном испарителе остаток перерастворяли в тетрахлорметане, очищали от полярных соединений на колонке с окисью алюминия и методом ИК-спектрии на ИК-Фурье спектрометре «Инфралюм ФТ-02» находили содержание нефтяных углеводородов (НУ) по [13]. Во второй анализировали содержание органического углерода ($C_{орг.}$) по [12]. В третьей навеске после кислотного разложения «царской водкой» методом атомно-абсорбционной спектрии на спектрометре С-115М1 (ААС), оснащённом комплексом «Графит-5М» для электротермической атомизации, определялось содержание металлов по методике [13]. Область применения этого РД была расширена на определение исследованных нами элементов. Концентрация ртути находилась методом «холодного пара» на ААС с помощью ртутной приставки ПР-01, разработанной и изготовленной в Ин-БЮМ НАНУ и прошедшей метрологическую аттестацию.

Показатели «нормы», максимум (max) и минимум (min) содержания токсикантов в донных грунтах брали из [14, 20].

Для характеристики жаберного аппарата моллюсков определяли следующие параметры: число жаберных филламентов (N), длина жаберного аппарата ($L_{ж}$), число филламентов на 1 мм жаберной пластинки ($N/L_{ж}$), а также универсальный безразмерный интегральный показатель приведённой удельной поверхности S_0 , отражающий уровень морфологической адаптации жаберного аппарата моллюсков к условиям среды [1, 9, 15], рассчитываемый по формуле:

$$S_0 = \sqrt{S} / \sqrt[3]{W}$$

где S – площадь поверхности объекта, W – его объём.

Результаты и обсуждение. Отличаясь по содержанию отдельных видов поллютантов,

все районы характеризуются сравнительно высоким содержанием тяжёлых металлов (рис. 2, 3, 4, 5).

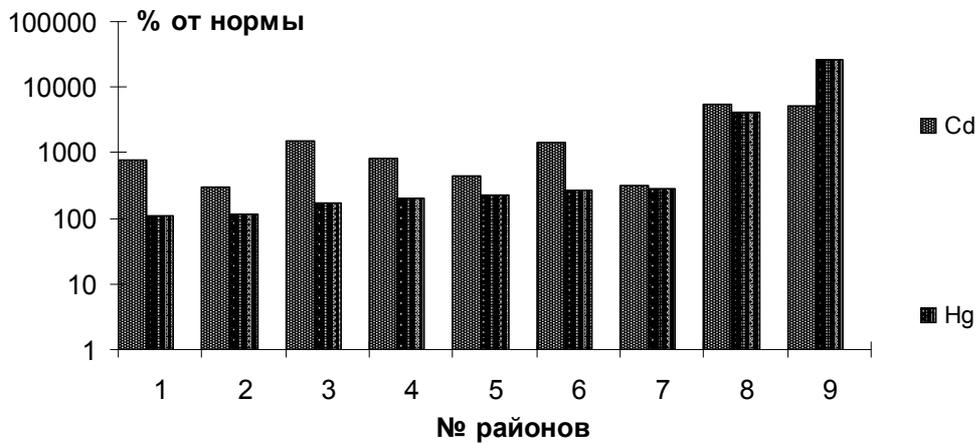


Рис. 2 Процентное содержание Cd и Hg в донных осадках.
Fig. 2 Percentage of Cd and Hg in bottom sediments.

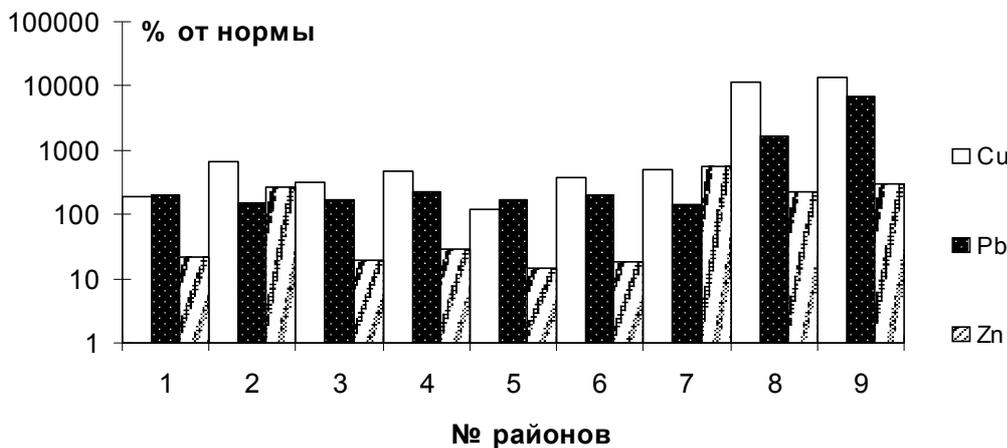


Рис. 3. Процентное содержание Cu, Pb и Zn в донных осадках.
Fig. 3. Percentage of Cu, Pb and Zn in bottom sediments.

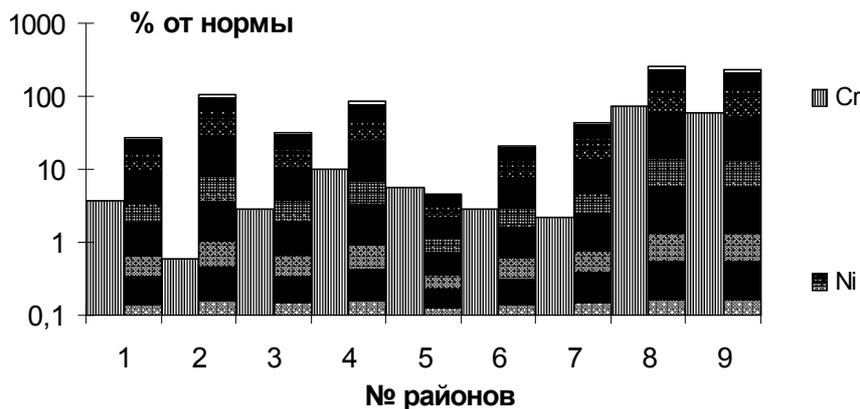


Рис. 4 Процентное содержание Cr и Ni в донных осадках.
Fig. 4 Percentage of Cr and Ni in bottom sediments.

Значительное содержание ртути в донных отложениях бухт Южная (превышение нормы более чем в 260 раз) и Севастопольская (в 40 раз) свидетельствует о высоком загрязнении данных акваторий (рис. 2). Здесь же отмечен Морський екологічний журнал, № 3, Т. VIII. 2009

чена наибольшая по сравнению с остальными районами концентрация Cu, Pb, Ni, Cr, Cd (рис. 2, 3, 4). Кроме того, как видно из рис. 5, донные осадки этих акваторий обогащены органическим углеродом. Накопление органического

углерода происходит наряду с увеличением количества углеводородов, которые в кутовой

части бухты Южной достигают 15,8 мг/г.

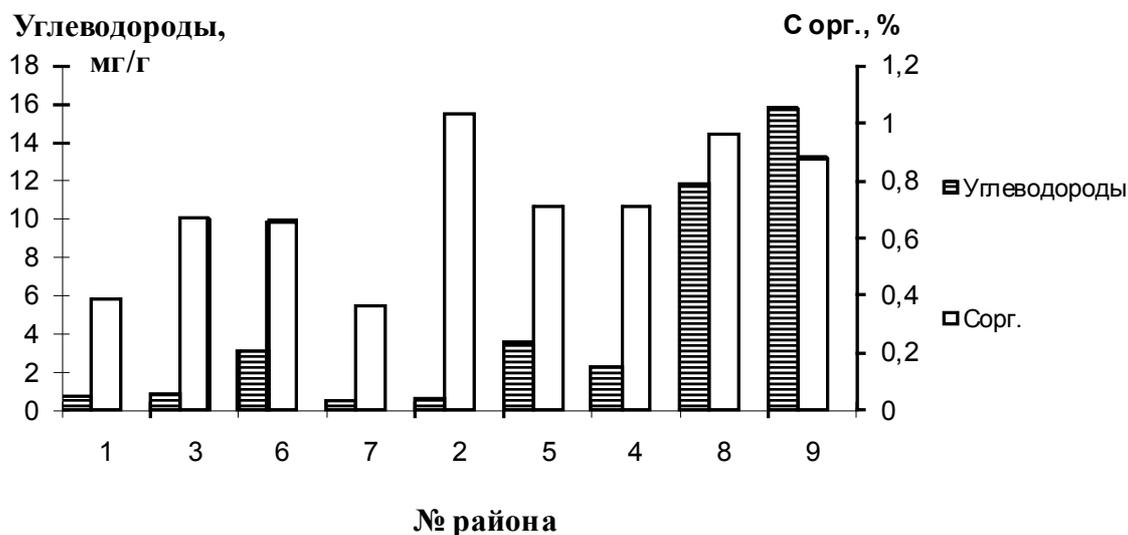


Рис. 5 Содержание углеводородов и $C_{орг.}$ в донных осадках
Fig. 5 Content of hydrocarbons and $C_{орг.}$ in bottom sediments

Бухты Лисья, Карадагская и район стока п. Учкучевка можно отнести к районам со средним уровнем загрязнения. Невысокая концентрация органического вещества (0/36%) и углеводородов (0/048 мг/г) в б. Лисья свидетельствует о незагрязненности углеводородами данной акватории (рис. 5), однако донные осадки последней, а также б. Карадагской и района стока п. Учкучевка обогащены Zn и Ni, причём наибольший показатель Zn отмечен в б. Лисья (превышение «нормы» в 10 раз) (рис. 3, 4).

Основываясь на анализе содержания всего исследованного комплекса токсикантов в донных грунтах, бухты Севастопольская и Южная можно определить как наиболее загрязнённые, в то время как бухту Ласпи, зоны выхода из бухт Казачья и Круглая – относительно чистыми. Низкое содержание тяжёлых металлов в донных осадках предполагает их незначительное токсическое воздействие на исследуемые организмы (табл. 1).

При практически неизменяющейся длине жаберного аппарата ($L_{ж}$) изменяется число жаберных филламентов. 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 (табл. 1, 2). Такая же картина наблюдается для *Ch. gallina*: у моллюсков из б. Ласпи $N/L_{ж}=27$, а в районе стока в б. Учкучевка – 45. Наибольшее количество органического вещества и пигментов содержится в б. Южная (табл. 2). Высокая степень загрязнения б. Южной отражается на морфологической структуре жабр моллюсков. Отношение $N/L_{ж}$ у двустворок из этого района максимально (18 и 45). Рост показателя $N/L_{ж}$ вызывает увеличение S_0 .

Был проведен корреляционный анализ между показателями S_0 моллюсков и исследуемыми характеристиками донных осадков. Наибольшая взаимосвязь обнаружена между показателем приведенной удельной поверхности (S_0) жаберного аппарата *M. galloprovincialis* и содержанием в грунте таких металлов как Cu, Pb, Ni, Cd, Zn ($r=0,97, 0,90, 0,94, 0,91$ и $0,79$ соответственно), между S_0 у *C. glaucum* и содержанием Ni, Cd ($r=0,70$ и $0,80$), между S_0 у *Ch. gallina* и содержанием Cd ($r=0,69$).

Табл. 1 Содержание тяжёлых металлов в донных осадках и некоторые морфологические параметры жаберного аппарата моллюсков (2002–2005 гг.)

Tab. 1 Content of heavy metals in bottom sediments and some morphological parameters of molluscs gills (2002–2005)

Район	Тяжелые металлы, мг/кг							<i>M. galloprovincialis</i>		<i>Ch.gallina</i>		<i>C. glaucum</i>	
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Hg	Ni	N	N/L _ж	N	N/L _ж	N	N/L _ж
Казачья (выход)	0.26 ± 0.08	3.51 ± 1.05	16.86 ± 5.06	7.37 ± 2.21	5.60 ± 1.68	0.07 ± 0.02	1.84 ± 0.55	510	14	-	-	189	31
Ласпи	0.47 ± 0.14	5.58 ± 1.67	20.60 ± 6.18	10.92 ± 3.28	3.63 ± 1.09	0.03 ± 0.01	10.99 ± 3.30	550	14	191	27	-	-
Круглая (выход)	0.90 ± 0.27	9.69 ± 2.91	17.12 ± 5.14	9.61 ± 2.88	2.81 ± 0.84	0.05 ± 0,01	12.87 ± 3.86	-	-	-	-	245	35
Круглая (кут)	0.84 ± 0.25	11.20 ± 3.36	20.45 ± 6.13	9.28 ± 2.78	2.86 ± 0.86	0.08 ± 0.02	8.29 ± 2.49	-	-	-	-	287	37
б. Лисья	0.19 ± 0.06	14.71 ± 4.41	14.11 ± 4.23	280.80 ± 84.24	2.14 ± 0.64	0.08 ± 0.02	17.54 ± 5.26	-	-	218	27	-	-
б. Карадагская	0.17 ± 0.05	19.64 ± 5.89	14.97 ± 4.49	136.10 ± 40.83	0.58 ± 0.17	0.03 ± 0.01	42.96 ± 12.89	588	15	298	33	-	-
Учкуевка (сток)	0.48 ± 0.14	13.98 ± 4.19	23.09 ± 6.93	14.75 ± 4.42	9.98 ± 2.99	0.06 ± 0.02	34.69 ± 10.41	-	-	306	45	-	-
Севастопольская (кут)	3.33 ± 1.00	345.97 ± 103.79	168.59 ± 50.58	113.58 ± 34.07	74.92 ± 22.48	1.21 ± 0.36	99.96 ± 29.99	610	18	-	-	-	-
Южная	3.09 ± 0.93	414.43 ± 124.31	673.45 ± 202.03	146.90 ± 44.07	60.22 ± 18.07	7.85 ± 2.35	94.10 ± 28.23	624	18	-	-	294	45
Норма*	0.06	30	10	50	100	0,03	40	-	-	-	-	-	-
Предел обнар.	0.007	0.02	0.08	0.50	0.03	0.009	0.08	-	-	-	-	-	-

Примечание: L_ж – длина жаберного аппарата (мм); N – число жаберных филламентов в 1 жаберной пластинке; N/L_ж – число филламентов на 1 мм жаберной пластинки; *- по [14]

Табл. 2 Содержание органического вещества в донных осадках и некоторые морфологические параметры жаберного аппарата моллюсков (2002–05 гг.)
 Tab. 2 Organic substance content in the bottom sediments and some morphological parameters of the gills of molluscs (2002–05)

Район	Углеводороды мг/г	C _{орг.} %	Пигменты, мкг/г			<i>M. galloprovincialis</i>		<i>Ch. gallina</i>		<i>C. glaucum</i>	
			А	К	Пигм. Индекс Скар./ Схл.а	N	N/L _ж	N	N/L _ж	N	N/L _ж
Лисья	0.05 ± 0.01	0.36	0.64	1.44	2.25	-	-	218	27	-	-
Ласпи	0.08 ± 0.02	1.56	0.12	0.06	0.50	550	14	191	27	-	-
Казачья	0.35 ± 0.07	2.84	7.60	2.60	0.34	510	14	-	-	189	31
Круглая (вых)	0.08 ± 0.02	2.68	1.68	0.22	0.13	-	-	-	-	245	35
Круглая (кут)	0.31 ± 0.06	2.64	1.70	0.23	0.13	-	-	-	-	287	37
Карадагская	0.06 ± 0.01	1.03	0.57	2.16	3.79	588	15	298	33	-	-
Учкуевка (сток)	0.23 ± 0.05	2.84	12.30	4.45	0.36	-	-	306	45	-	-
Севастопольская (кут)	1.18 ± 0.24	3.84	42.06	7.39	0.17	610	18	-	-	-	-
Южная	1.58 ± 0.32	3.52	180.60	46.25	0.26	624	18	-	-	294	45

Примечание: L_ж – длина жаберного аппарата (мм); N – число жаберных филламентов в 1 жаберной пластинке; N/L_ж – число филламентов на 1 мм жаберной пластинки; А – хлорофилл А; К – каротиноиды

Наблюдается значительная корреляция S_0 жабр *M. galloprovincialis* и *Ch. gallina* с содержанием углеводов ($r=0,94$ и $r=0,70$ соответственно), в то время как у *C. glaucum* отмечен невысокий коэффициент корреляции между этими показателями ($r=0,56$). С пигментным индексом корреляция практически отсутствует у S_0 *M. galloprovincialis* ($r=0,27$) и *C. glaucum* ($r=0,27$), а у *Ch. gallina* – с Cu, Pb,

Cr, и Ni ($r=0,10$, $r=0,13$, $r=0,03$ и $r=-0,20$ соответственно).

На рис. 6, 7, 8 и 9 показаны изменения показателя приведенной удельной поверхности жаберного аппарата S_0 одноразмерных особей *M. galloprovincialis*, *Ch. gallina* и *C. glaucum* в зависимости от содержания в донных осадках таких металлов как Cd, Hg, (рис. 6), Cu, Pb, Zn (рис. 7, 8) и Cr, Ni (рис. 9).

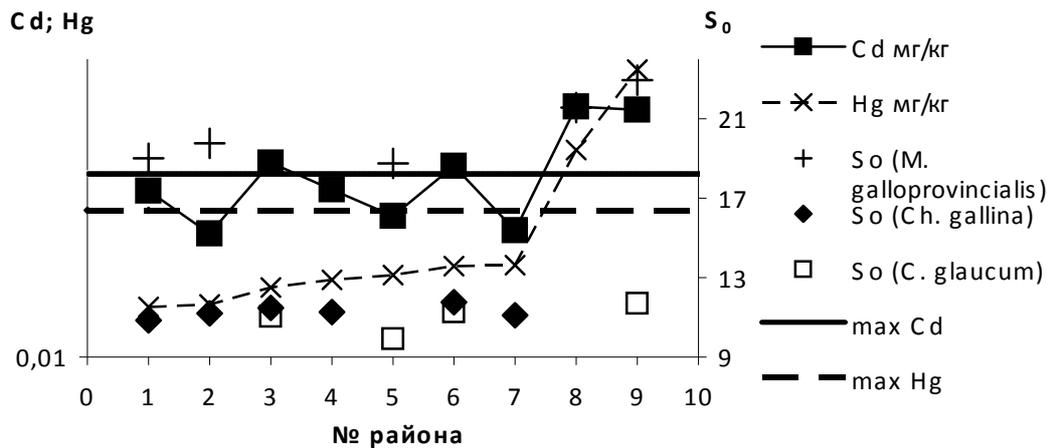


Рис. 6 Зависимость S_0 от содержания Cd и Hg в донных осадках.
Fig. 6 Dependence between S_0 and content of Cd and Hg in bottom sediments

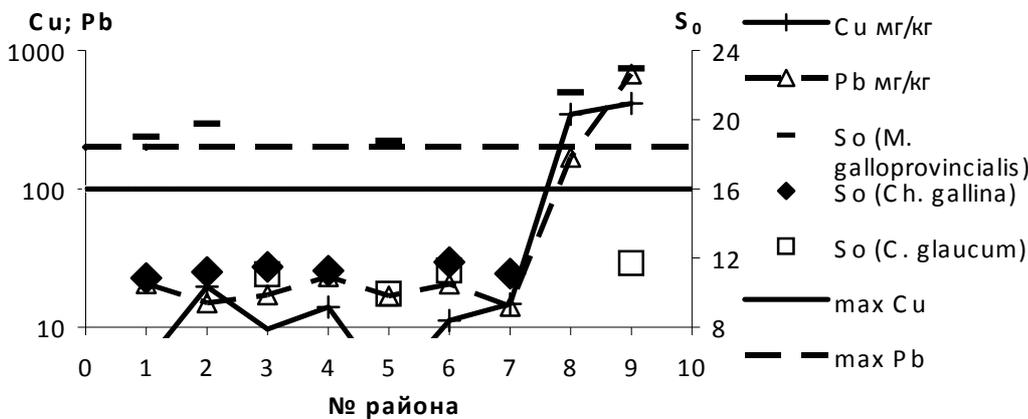


Рис. 7 Зависимость S_0 от содержания Cu, Pb в донных осадках
Fig. 7 Dependence between S_0 and content of Cu, Pb in bottom sediments

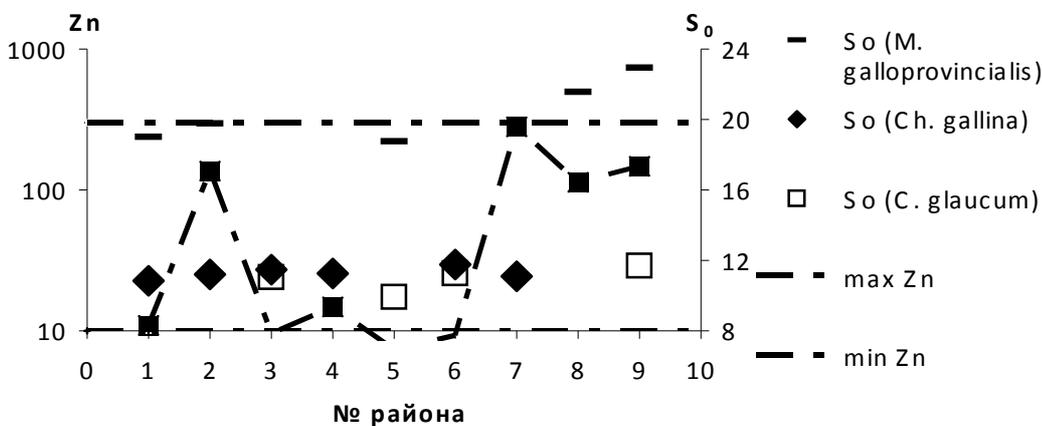


Рис. 8 Зависимость S_0 от содержания Zn в донных осадках
Fig. 8 Dependence between S_0 and content of Zn in bottom sediments

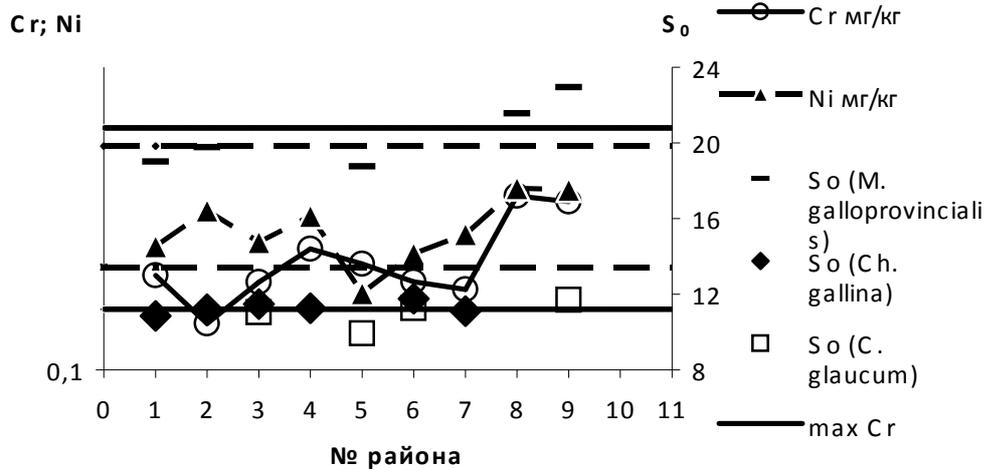


Рис. 9 Зависимость S_0 от содержания Cr и Ni в донных осадках
Fig. 9 Dependence S_0 on maintenance Cr and Ni in bottom sediments

Минимальные показатели S_0 у двустворок из бухт Казачья и Ласпи: у *M. galloprovincialis* – 18,75 и 19, у *Ch. gallina* – 10,85 (Ласпи), у *C. glaucum* – 9,92 (Казачья). Максимальная степень рассечённости жабр отмечена у *M. galloprovincialis* из кутовой части Севастопольской и Южной бухт (21,56 и 22,94 соответственно), у *Ch. gallina* из кутовой части б. Круглая (11,76), у *C. glaucum* из б. Южная и кута б. Круглая (11,7 и 11,26 соответственно). Несмотря на то, что в б. Севастопольской содержание Cr и Ni выше (74,92 и 99,6 мг/кг), чем в б. Южной (60,22 и 94,1 мг/кг), донные осадки последней в большей степени насыщены такими металлами, как Hg, Zn, Pb и Cu (рис. 6, 7, 8). Концентрация Zn в б. Карадагская практически не отличается от таковой в б. Южная (136,1 и 146,9 мг/кг соответственно).

Накопление Zn в мягких тканях *M. galloprovincialis* происходит более интенсивно, чем Pb, Cu, Cd. Различия в содержании токсикантов у моллюсков разных микропопуляций является отражением неравномерной насыщенности металлами окружающей среды [11]. Можно предположить, что высокое содержание цинка в донных осадках б. Карадагская отражается на скорости его накопления в организме моллюсков, что оказывает негативное воздействие и проявляется в увеличении степени рассечённости жабр.

Изменение S_0 жаберного аппарата *M. galloprovincialis*, *Ch. gallina*, *C. glaucum* в связи с содержанием органики и пигментов в донных осадках районов исследования показаны на рис. 10, 11, 12.

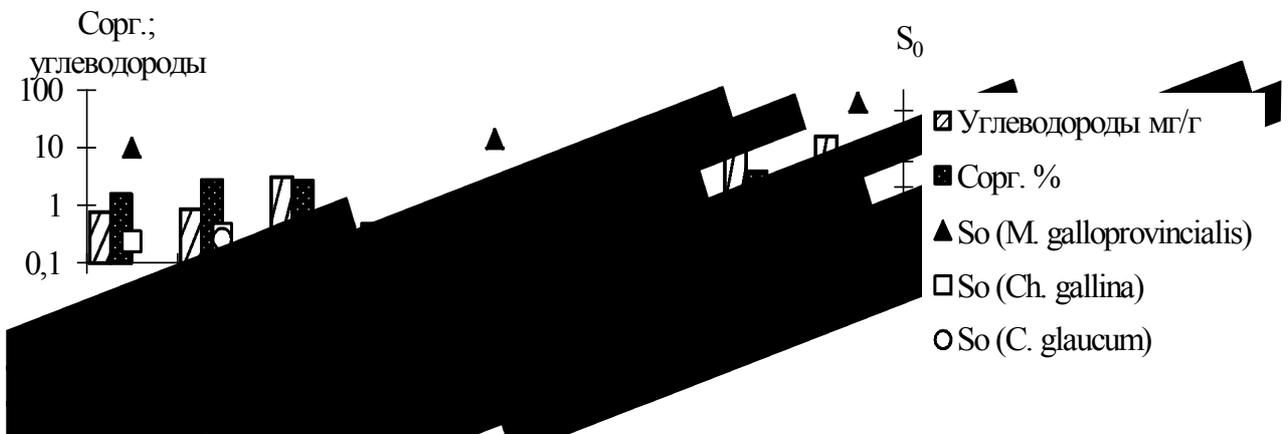


Рис. 10 Изменения показателя S_0 в связи с содержанием углеводов и $C_{орг}$ в донных осадках
Fig. 10 Changes of index S_0 in connection with content of hydrocarbons and $C_{орг}$ in bottom sediments

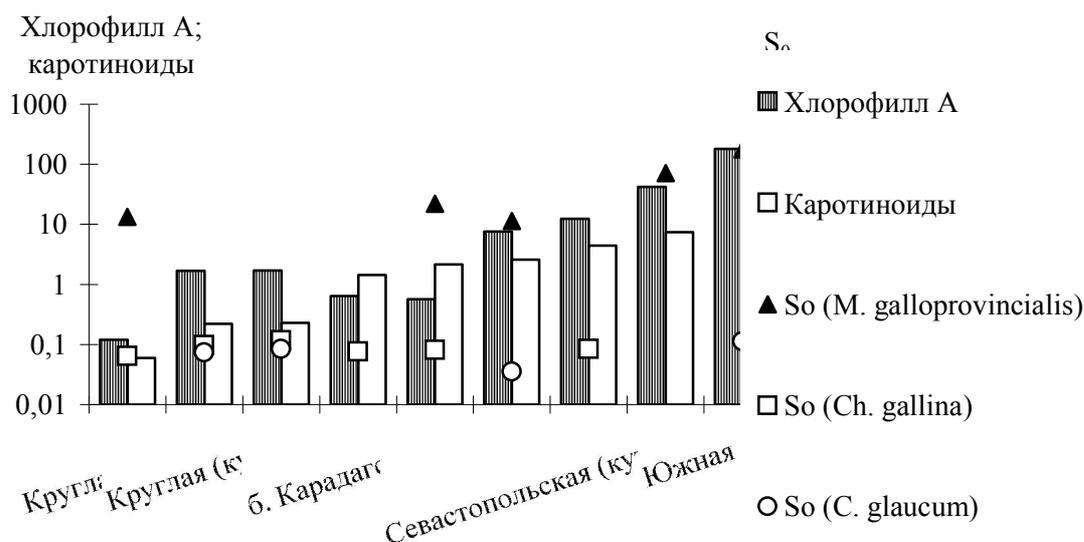


Рис. 11 Изменение показателя S_0 в зависимости от содержания хлорофилла А и каротиноидов в донных осадках

Fig. 11 Changes of index S_0 in dependence of content of chlorophyll A and carotenoids in bottom sediments

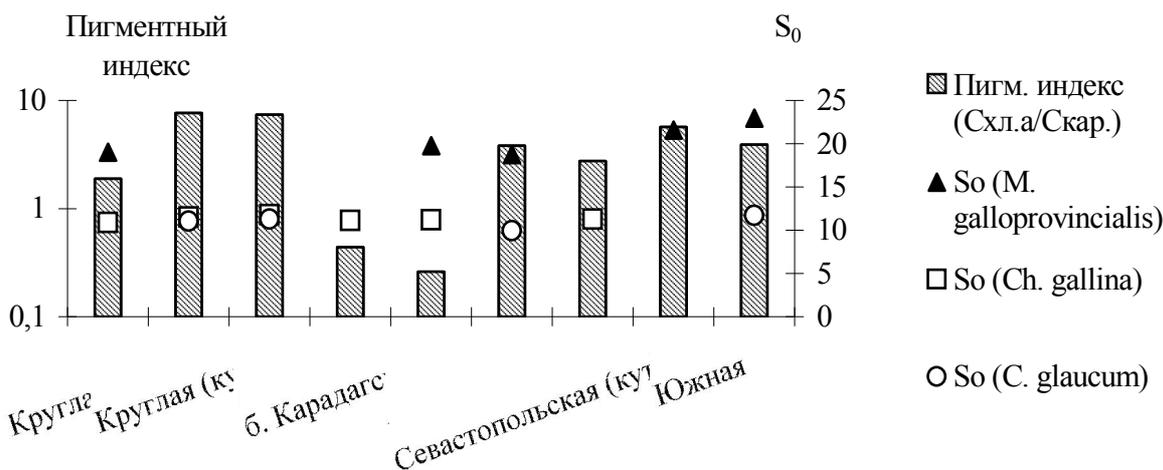


Рис. 12 Изменения показателя S_0 в зависимости от значения пигментного индекса

Fig. 12 Changes of index S_0 in dependence of pigmentary index meaning

Анализ данных дополняет общее представление о влиянии условий среды на морфологические показатели жабр двустворчатых. По мере увеличения степени загрязнения акваторий показатель S_0 у *M. galloprovincialis* возрастает и достигает максимума в бухте Южной ($S_0 = 22,94$). Степень рассечённости (S_0) жаберного аппарата *Ch. gallina* из кутовой части б. Круглая на 10% выше, чем у особей из относительно чистой бухты Ласпи. В б. Круглая дву-

створки длиной 18 мм имеют жабры с S_0 равным 11,76 (содержание углеводов в донных осадках здесь достигает 3,1 мг/г, органического углерода – 2,64 %), тогда как в б. Ласпи у моллюсков с той же длиной створок S_0 жаберного аппарата равен 10,85 (содержание углеводов в грунте – 0,77 мг/г, С орг. – 0,56 %). В б. Южная у *C. glaucum* с длиной раковины 20 мм показатель $S_0 = 11,7$ (содержание органического углерода в осадках здесь

достигает 3,52 %, углеводов – 15,8 мг/г), а в бухте Казачья при той же длине – 9,92 ($S_{орг.}$ – 2,84%, углеводов – 3,5 мг/г).

Для сравнения рассмотрим изменение S_0 жаберного аппарата одноразмерных особей *M. galloprovincialis* (L=62 мм) из проб 1992 –

96 гг. и некоторые гидрохимические характеристики районов исследования (рис. 13). Для характеристики районов исследований, приведенных на рис. 8, использованы литературные данные [7].

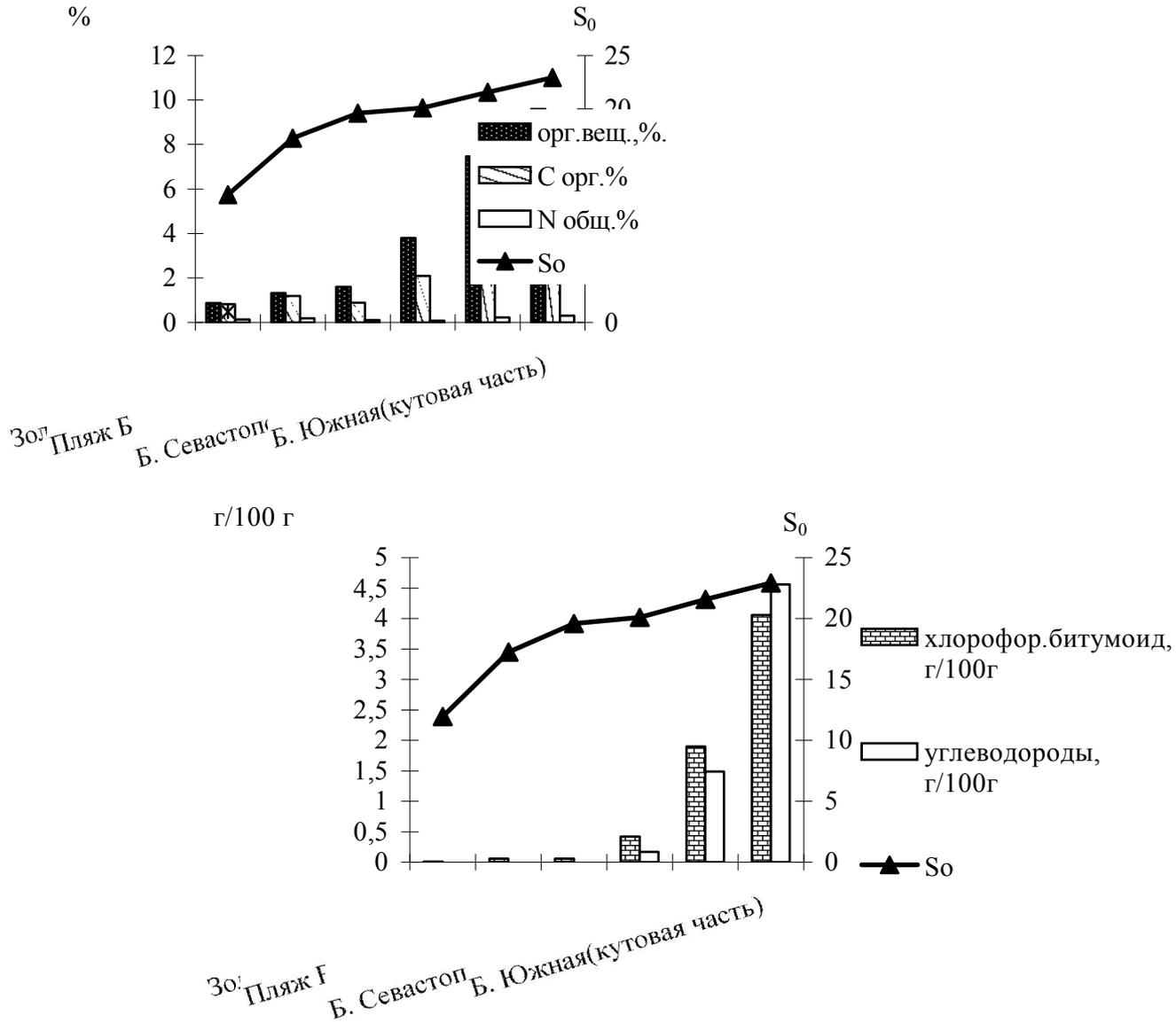


Рис. 13 Зависимость показателя S_0 жабр *M. galloprovincialis* от концентрации органического вещества, массовой доли углерода и азота, их отношения (верхний рис.) и от концентрации хлороформенных битумоидов и углеводов (нижний рис.) в донных осадках разных по экологическому состоянию акваторий Крыма (1992-96 гг.)

Fig. 13 Dependence between the index S_0 of gills *M. galloprovincialis* and concentration of organic substance, mass fraction of carbon and nitrogen, their relation (upper fig.) both: concentration chlorophorm bithumoids and hydrocarbons (lower fig.) in bottom sediments of water areas of Crimea different in an ecological condition (1992-96)

Прослеживается заметный рост показателя S_0 по мере увеличения концентрации хлороформных битумоидов, углеводов, органического вещества и массовой доли углерода в донных осадках бухт. Моллюски с минимальной степенью рассечения жабр были найдены в б. Ласпи ($S_0 = 11,96$), а с максимальной – в б. Южная ($S_0 = 22,89$).

Известно, что, в зависимости от условий среды, химические вещества могут как усиливать, так и подавлять биологическое воздействие на организм. Как правило, токсиканты взаимно увеличивают эффект [10, 16]. По нашим данным, с ростом концентрации загрязняющих веществ в донных осадках заметно увеличивается показатель S_0 . Вероятно, что выявленный нами рост N и S_0 жабр моллюсков по мере увеличения содержания токсикантов и органики в донных осадках связан с реакцией организма

на влияние неблагоприятных условий среды обитания. В данном случае изменение в жаберном аппарате двустворчатых, скорее всего, происходит под действием целого комплекса факторов, включающего в себя исходные загрязнители и продукты их реакции.

Выводы. Анализ изменения структуры жаберных аппаратов *Ch. gallina*, *C. glaucum* и *M. galloprovincialis* в связи с ростом уровня загрязнения донных осадков в месте обитания моллюсков предполагает, что существует определённый компенсаторный механизм, появляющийся в ходе конвергентного адаптогенеза. Эта компенсаторная реакция позволяет моллюскам-фильтраторам увеличивать интенсивность работы дыхательного аппарата в пессимальных условиях за счёт увеличения показателя приведенной удельной поверхности S_0 .

1. Алеев Ю. Г. О биогидродинамических различиях планктона и нектона // Зоол. журн. – 1972. – 51, 1. – С. 5 – 12.
2. Горомосова С. А., Шапиро А. З. Основные черты биохимии энергетического обмена мидий. – М.: Легкая и тяж. пром-сть, 1990. – 118 с.
3. 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 АН СССР. – Биол. – № 2. – 1989. – С. 204–214.
4. Заика В. Е., Валовая Н. А., Повчун А. С., Ревков Н. К. Митилиды Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1990. – 205 с.
5. Кобленц-Мишке О. И. Экстрактивный и безэкстрактивный методы определения фотосинтетических пигментов в пробе / Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. – (Под ред. М.Е. Виноградова). – М.: Наука, 1983. – С.114–125.
6. Копытов Ю. П., Дивавин И. А., Цымбал И. М. Схема биохимического анализа гидробионтов // М., 1985. – 6 с. – Рукоп. деп. ВИНТИ, № 2556 – 85 ДЕП.
7. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алемов С. В. Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 185 с.
8. Оскольская О. И. Степень развития жаберной поверхности двустворчатых моллюсков как индикатор среды обитания // Экологич. нормирование, проблемы и методы: Тез. научно-коорд. совещ. (Пушино, 13–17 апр. 1992). – М., 1992. – С. 106–107.
9. Оскольская О. И., Тимофеев В. А., Бондаренко Л. В. Влияние загрязнения шельфовой зоны Черного моря на морфофизиологические характеристики мидии *Mytilus galloprovincialis* Lmk./ Экология моря. – 1999. – Вып. 49. – С. 84–89.
10. Пашкова И. М., Глушанкова М. А. Содержание тяжёлых металлов в мягких тканях и раковинах особей трех сортов азовско-черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* // Цитология. – 1993. – 35, № 6/7. – С.84–89.
11. Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность мирового океана. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 256 с.
12. Потапова Л. И., Курприн П. Н., Фролова Л. В. Определение углерода органического вещества в донных осадках/ Методы исследования органического вещества в океане. – М.: Наука, 1980. – С. 50–56.
13. Руководящий документ Методические указания Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. – М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – 1996. – 50 с.

14. *Совга Е. Е.* Загрязняющие вещества и их свойства в природной среде. – Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – 237 с.
 15. *Тимофеев В. .* Метод оценки степени расщепленности жабрного аппарата двустворчатых моллюсков на примере *Chamelea gallina* // Проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна: современное состояние и прогноз: Тез. конф. молодых ученых (Севастополь, 18–20 сентября 2001 г.). – Севастополь. – 2001. – С. 99.
 16. *Юрин В. М., Сафронова Н. Н.* Комбинированное действие химических соединений на биоэлектрическую реакцию клеток *Nitella* / Гидробиол. журн. – 1981. – 27, № 3. – С. 100–106
 17. *Amiard J. C.* Study of the bioaccumulation at the molecular, cellular and organism levels of lead and copper transferred to the oyster *Crassostrea gigas* Thunberg directly from water via food // Proc. 21st Eur. Mar. Biol. Symp. (Gdansk, 14–19 Sept., 1986). – Wroclaw etc., 1989. – P. 521–529. *Basha S. M., Swami K. S., Pushpanjali A.* Ciliary and cardiac activity of freshwater mussel *Lamellidens marginalis* (Lamarck) as an index of evaluating organophosphate toxicity // J. Environ. Biol. – 1988. – №3, Suppl. – P. 313 – 318.
 18. *Hugh D. J., Owen G. R., Tracy A.* Southern. Gill dimensions, water pumping rate body size in the mussel *Mytilus edulis* L. // J. Exp. Marine Biol. Ecol. – 1992. – 155, № 2. – P. 213–237.
 19. *Lindsay W. L.* Chemical equilibria in soils. – New York: Wiley and Sons, 1979. – 449 p.
- Поступила 15 января 2009 г.
После доработки 20 июня 2009 г.*

Морфологія зябрового апарату двостулкових молюсків у зв'язку з забрудненням донних осадів. В. А. Тимофеев, Ю. П. Копытов, Е. З. Самышев. Досліджена морфологічна структура жабрових апаратів *Mytilus galloprovincialis*, *Chamellea gallina*, *Cerastoderma glaucum* з пибережних акваторій Криму з різним рівнем забруднення донних осадів. Виявлено існування компенсаторного механізму, що дозволяє збільшити інтенсивність роботи дихального апарату у песимальних умовах за рахунок збільшення показника зведеної питомої поверхні (S_0). Зниження фізіологічних характеристик компенсується підвищенням ступеня розсіченості зябрового апарату, що забезпечує зрівняння інтенсивних обмінних процесів.

Ключові слова: двостулкові молюски, забруднення середовища, адаптація.

Morphology of Bivalvia branchial system in conditions of bottom sediments pollution. V. A. Tymofeyev, J. P. Kopytov, E. Z. Samyshev. The morphological structure of gills of *Mytilus galloprovincialis*, *Chamellea gallina*, *Cerastoderma glaucum* from Crimean coastal water areas with different level pollution of bottom sediments is investigated. Compensatory mechanism existence that allow to increase work intensity of the respiratory system in pessimal conditions, owing to increase of reduced specific surface (S_0) is revealed. Decrease of physiological characteristics is compensated by increase of lacinate gills degree that promotes alignment of intensive metabolic processes.

Keywords: Bivalvia, environmental pollution, adaptation.