



УДК 504.064.594.1.546.49(262.5)

**Н. Н. ТЕРЕЩЕНКО**, канд. биол. наук, ст. н. с., **Г. Г. ПОЛИКАРПОВ**, акад. НАН України, гл. науч. с.,  
**С. К. КОСТОВА**, канд. биол. наук, ст. н. с.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

## ХЕМОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РТУТЬЮ ПОСЕЛЕНИЙ ФАЗЕОЛИНЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ У ЮГО-ЗАПАДНЫХ БЕРЕГОВ КРЫМА

Представлены результаты хемоэкологического мониторинга зоны биоценоза фазеолины (*Modiolus phaseolinus*) в Черном море у юго-западных берегов Крыма, включающего изучение загрязнения ртутью воды, донных отложений и фазеолин, а также пространственного распределения численности и биомассы фазеолин, размерного состава моллюсков как основных биологических показателей состояния поселений фазеолины.

**Ключевые слова:** хемоэкологический мониторинг, *Modiolus phaseolinus*, пространственное распределение, размерный состав, загрязнение ртутью, коэффициенты накопления ртути

Поверхность моря и водная толща служат входным звеном для загрязняющих веществ, а донные отложения – конечным звеном процессов переноса и перераспределения для многих поступающих в море моллисков, которые прочно связываются с осадками и в результате депонируются в донных отложениях.

К числу подобных токсических веществ относится ртуть (Hg) [15, 16]. В морской среде ртуть довольно быстро сорбируется взвешенным веществом и в процессе седиментации взвеси, особенно в зоне шельфа, загрязняет донные отложения и бентосные сообщества, что приводит к повышенному содержанию токсикантов в биоте. Так, показано, что в узкой прибрежной полосе в Каркинитском заливе вблизи источников загрязнения содержание ртути в воде превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК) более чем в 2 раза

[10], а в мидиях (*Mytilus galloprovincialis*) – в 2 раза [6].

У побережья Крымского п-ова биоценоз мидии обычно занимает глубины до 20 – 50 м, а глубже, как правило, на глубинах 60 – 125 м, располагается биоценоз фазеолины (*Modiolus phaseolinus*) [5]. Этот двустворчатый моллюск-фильтратор является руководящим видом одного из трех региональных бентосных биоценозов Черного моря [5]. Биотоп фазеолинового биоценоза, особенно у его верхней границы, является зоной откорма ряда рыб – белуги, камбалы-калкана, смариды и др. [1]. Однако исследований распределения ртути в основных компонентах биоценоза фазеолины в Черном море, с целью определения и сравнения концентрирующей способности этих моллюсков, ранее не проводилось. Целью настоящей работы и стали хемоэкологическому исследованию загрязнения ртутью биотопа фазе-

олины – воды, донных отложений и самих моллюсков.

**Материал и методы.** Хемозкологические исследования бентосных поселений черноморской фазеолины проводили южнее м. Тарханкут с 1986 по 1993 гг. [9, 13]. Одновременно исследовали как основные биологические характеристики поселений фазеолины (биомассу, численность, размерный состав

моллюсков), так и загрязнение ртутью основных компонентов экосистемы – воды, донных отложений и фазеолины. Отбор проб выполняли на НИС “Профессор Водяницкий” и НИС “Академик Ковалевский” на пяти меридиональных разрезах – I разрез вдоль 31°58', II – 32°10', III – 32°40', IV – 33°00' и V – 33°10' в д. (табл. 1).

Таблица 1. Объем выполненных исследований – Table 1. Studied materials

№ меридионального разреза	Долгота разреза, в. д.	Глубины, на которых выполнялись исследования, м	Отбор проб			
			фазеолин		Hg	
			Годы	Количество проб	Годы	Количество проб
I	31°58'	60 – 190	1993	10	1993	8
II	32°20'	50 – 260	1988, 1989, 1993	21	1988	8
III	32°40'	50 – 320	1986 – 1989, 1992, 1993	63	1986, 1989, 1992, 1993	36
IV	33°00'	50 – 150	1989, 1993	14	1989, 1993	12
V	33°10'	50 – 120	1989, 1993	13	1989, 1992	12

В мониторинговых исследованиях III разрез был реперным, а I – V – дополнительными. Пробы воды, донных отложений и гидробионтов отбирали в марте – апреле и в сентябре – ноябре. Подготовку проб к измерению ртути осуществляли по методам мониторинга фоновое загрязнение природной среды [14]. В образцах определяли растворенную и взвешенную форму ртути в воде, а также содержание общей ртути в воде, донных отложениях и моллюсках. Количественное определение ртути проводили с помощью метода непламенной атомно-адсорбционной спектроскопии [3, 11], измерения выполняли на анализаторе “Юлия-2”. Относительная ошибка определения средних значений содержания ртути в пробах воды составляла 6,4 %, в пробах взвешенного вещества, донных отложений и гидробионтов – 13,4 %.

Пробы бентоса и донных отложений отбирали дночерпателем “Океан” и обрабатывали по известным методикам [1, 5, 9]. В пробах определяли количество особей фазеолины, их биомассу, размерный состав моллюсков ( $l$ ,

мм). На основании полученных данных рассчитывали численность *M. phaseolus* ( $a$ , экз.  $\text{м}^{-2}$ ) и ее биомассу ( $b$ ,  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ ), встречаемость живых фазеолин на разных глубинах (%). Также определяли сырой вес раковин отмерших фазеолин ( $W$ ,  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ ), при отборе проб грунта с толщиной слоя 150 мм.

**Результаты и обсуждение.** Количественное распределение фазеолины изучалось на пяти меридиональных разрезах у западных берегов Крыма, южнее мыса Тарханкут на глубинах от 50 – 60 до 120 – 320 м (табл. 1).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на трех разрезах (I – III) средняя численность моллюсков в зоне 100 %-ой встречаемости фазеолин изменялась в пределах 930 – 9220 экз.  $\text{м}^{-2}$ , а биомасса – 67 – 1120  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ . Это составляет естественный разброс численности и биомассы для *M. phaseolus* [8]. Примеры типичного распределения численности фазеолин и ракуши отмерших моллюсков на одном из разрезов представлены на рис. 1.

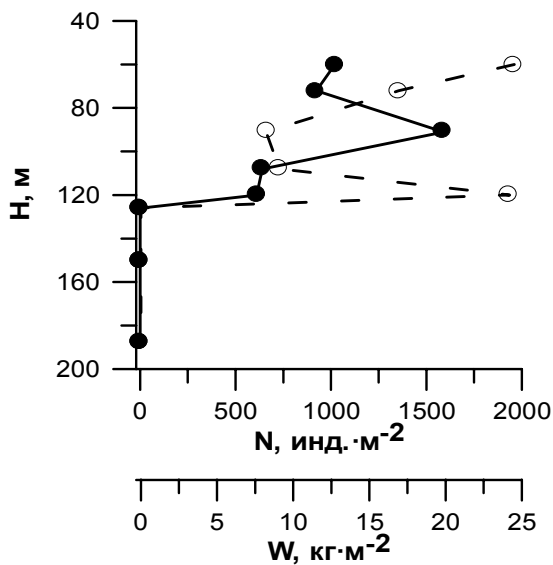


Рис. 1. Распределение моллюсков *Modiolus phaseolinus* на разрезе вдоль 32°10' в. д., где N – число живых особей (●), W – вес раковин отмерших двустворок (○), H – глубина  
 Fig. 1. Distribution of bivalves *Modiolus phaseolinus* at the transect along 32°10' E, where N – number of alive specimens (●), W – weight of dead shells (○), H – depth

Размерный состав фазеолин характеризовался наличием всех размерных классов – от 1 до 14 мм, включая мелкие особи (1 – 3 мм). Наличие в биоценозе недавно осевшей молодежи (мелкие особи) свидетельствует о стабильности процессов размножения, а присутствие в пробах средних и крупных особей отражает стабильность процессов роста моллюсков (рис. 2).

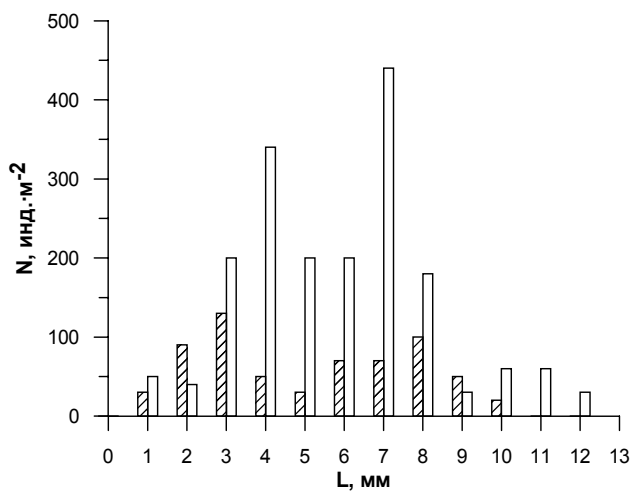


Рис. 2. Распределение раковин живых особей *Modiolus phaseolinus* по размерным классам в пробах с глубины 110 м на меридиональном разрезе вдоль 31°58' в. д. (диаграмма без штриховки) и пробах с глубины 108 м вдоль 32°10' в. д. (заштрихованная диаграмма), где: N – число особей, L – длина раковины  
 Fig. 2. Alive mussel *Modiolus phaseolinus* shells distribution according to the size classes in the samples at 110 m depth at longitude transect along 31°58' E (open bars) and in samples at 108 m depth at transect along 32°10' E (hatched bars), where: N – number of specimens, L – shell length

можно предположить, что этот процесс мог иметь антропогенное происхождение (дампинг, траловые или другие виды работ), но причины и природа выявленного факта нами не были исследованы.

На двух меридиональных разрезах (IV – V) восточнее 33°00' в. д. живые моллюски не были обнаружены, а ракушка фазеолин присутствовала под поверхностным слоем (10 – 15 см) песчано-илистых отложений на глубинах, соответствующих зоне фазеолинового биоценоза (рис. 3).

В этом районе в 60-е годы двадцатого столетия еще обитали живые фазеолины [4]. Так как этот район является районом дампинга, то, возможно, что засыпание слоем осадков поселений фазеолины привело к их гибели. Принимая во внимание толщину осадков и период времени, за который они накопились,

В этот же период (1986 – 1993 гг.) средние значения содержания общей ртути в поверхностном слое воды на разных станциях изменялись от 13 до 59 нг.л<sup>-1</sup>. На всех станциях в придонном слое воды содержание общей ртути, как правило, было несколько выше такового в поверхностном слое, но средние значения варьировали, примерно, в том же интервале величин: 17 – 51 нг.л<sup>-1</sup>.

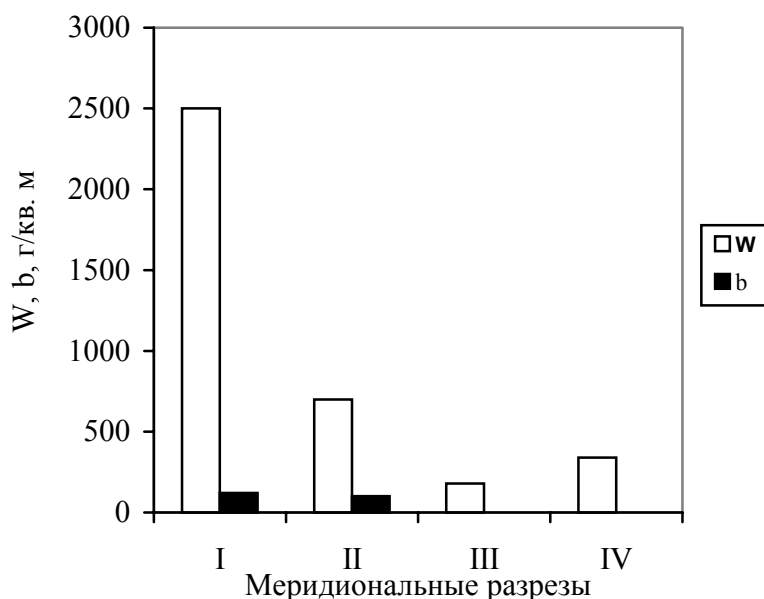


Рис. 3. Распределение по разрезам (I – IV) веса раковин отмерших фазеолин (W) и их биомассы (b) в зоне фазеолинового биоценоза у юго-западных берегов Крыма

Fig. 3. Distribution at the transects (I – IV) of dead phaseolina shells weight (W) and their biomass (b) in the zone of phaseolina biocenoses near the south-western coast of Crimea

При этом максимальные концентрации ртути в поверхностной воде составляли  $59 \text{ нг.л}^{-1}$ , а в придонной –  $91 \text{ нг.л}^{-1}$ . На долю взвешенного вещества приходится не более 50 % общего содержания ртути. Средние зна-

чения содержание изучаемого загрязнителя в донных отложениях в этом районе составляли  $18 - 56 \text{ нг.г}^{-1}$ , а в фазеолине –  $30 - 40 \text{ нг.г}^{-1}$ , максимальные показатели –  $76$  и  $50 \text{ нг.г}^{-1}$ , соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Содержание общей ртути в воде, донных отложениях и фазеолине у юго-западных берегов Крыма: средние значения по району и максимальные (в скобках)

Table 2. Total mercury content in water, bottom sediments and phaseolina near the south-western coast of Crimea: average magnitudes in area and (highest)

Время отбора проб, год	Горизонт отбора проб воды	Концентрация ртути		
		в воде, $\text{нг.л}^{-1}$	в донных отложениях, $\text{нг.г}^{-1}$	в фазеолинах, $\text{нг.г}^{-1}$
1986	поверхностный	18 (23)		
1986	придонный	35 (58)		
1987	поверхностный	20 (60)		
1987	придонный	37 (63)	41 (50)	30 (34)
1988	поверхностный	22(23)		
1988	придонный	45 (59)	31 (60)	
1989	поверхностный	59 (91)		
1989	придонный	51(60)	56 (76)	40 (50)
1991	поверхностный	13 (17)		
1991	придонный	17 (20)	18 (23)	
1992	поверхностный	21 (22)		
1992	придонный	26 (28)	24 (56)	35 (50)
1993	поверхностный	25 (37)		
1993	придонный	32 (50)	24 (27)	

За период исследований устойчивая тенденция к снижению содержания ртути в изученных компонентах не была отмечена. Такая ситуация, вероятно, связана с большей

удаленностью фазеолинового биоценоза в Черном море от прибрежной мелководной зоны и, вследствие этого, с меньшим влиянием береговых источников загрязнения на содер-

жение ртути в основных компонентах биоценоза. В мелководной же зоне ситуация изменяется более динамично. С одной стороны, там наблюдались более высокие концентрации ртути в абиотических и биотических компонентах морских биоценозов в 80-е годы, а с другой стороны, как показали более поздние исследования, в 1999 – 2001 гг. в этих акваториях было установлено снижение концентрации ртути в воде, донных отложениях и гидробионтах [6, 12]. Как известно, это был период уменьшения объемов промышленных и сельскохозяйственных стоков в результате экономического спада 90-х годов, что изменило к лучшему хемотрологическую ситуацию в прибрежных экосистемах. Поэтому для устойчивого развития прибрежных экосистем и возможности их рационального использования необходимо, чтобы экономический рост сопровождался внедрением новых технологий, позволяющих предотвратить поступление в морские биоценозы таких высокотоксичных загрязнителей, как ртуть.

Коэффициенты накопления общей ртути донными отложениями и фазеолинами, рассчитанные на основании полученных данных, достаточно высоки и составили величины порядка 900 и 800 единиц, соответственно. Таким образом, в отношении ртути *M. phaseolinus*, наряду с другими морскими животными [6, 15], является организмом-концентратором и может быть использована как индикаторный вид.

Если высокие коэффициенты накопления ртути донными осадками обусловлены как самим процессом осадкообразования, так и физико-химическими свойствами самих осадков [6], то высокие уровни накопления ртути фазеолинами обусловлены, прежде всего, типом питания моллюска. Фазеолина – фильтратор и, фильтруя большие объемы воды в процессе питания [5], она концентрирует ртуть в тканях своего организма. Вследствие способности фазеолин накапливать ртуть, ее концентрация в моллюсках превышает уровни за-

грязнения воды ртутью, практически более чем на два порядка. В то же время, являясь кормом для бентосоядных рыб [1], фазеолины служат для них источником повышенных концентраций ртути.

Так называемая безопасная концентрация ртути в морской воде принята равной  $100 \text{ нг.л}^{-1}$  [7]. В наших исследованиях содержание ртути в в поверхностных слоях воды не превышало  $59 \text{ нг.л}^{-1}$ , а в придонной толще  $91 \text{ нг.л}^{-1}$ . Таким образом, в районе проведения хемотрологического мониторинга в зоне фазеолинового биоценоза содержание общей ртути в воде не достигает установленной безопасной концентрации и, следовательно, не оказывает повреждающего действия на основные биологические характеристики *M. phaseolinus*. Это суждение подтверждает и сравнение выявленных нами уровней содержания ртути в фазеолинах с установленной предельно допустимой концентрацией (ПДК) ртути в моллюсках, которая принята равной  $200 \text{ нг.г}^{-1}$  [10]. В период исследований содержание ртути в моллюсках составляло 15 – 20 % от ПДК. Благодаря большей удаленности биоценоза фазеолины от береговых источников загрязнения и разбавлению загрязняющих веществ морскими водными массами, как видим, в период проведения исследований в зоне фазеолинового биоценоза у юго-западных берегов Крыма, в отличие от зоны биоценоза мидии [6], концентрации ртути не достигали установленных предельно допустимых уровней содержания ртути как в воде, так и в моллюсках. Свидетельствуя о наличии ртути в исследуемых компонентах экосистемы фазеолиновых поселений, полученные результаты указывают на то, что действие наблюдаемых концентраций ртути не сказывалось отрицательно на основных биологических показателях жизнедеятельности руководящего вида биоценоза – черноморской фазеолины.

**Выводы. 1.** В зоне биоценоза фазеолины в Черном море у юго-западных берегов Крымского п-ова восточнее  $33^{\circ}00' \text{ в. д.}$  в период наблюдений живые фазеолины не были

обнаружены. Западнее 33°00' в. д. поселения моллюсков *M. phaseolinus* находились в стабильном состоянии. **2.** В отличие от более мелководных прибрежных зон, биоценоз фазеолины менее подвержен влиянию береговых источников загрязнения и характеризуется более устойчивой хемозкологической ситуацией. **3.** Хемозкологические условия, в частности, загрязнение ртутью, не оказывали отрицательно-го влияния на численность и биомассу, про-

цессы роста и размножения фазеолин. Содержание ртути в моллюсках составляло 15 – 20 % от ПДК. **4.** Среди исследованных компонентов фазеолинового биоценоза донные отложения и фазеолины обладают повышенной концентрационной способностью в отношении ртути и концентрация ртути в осадках в 900, а в фазеолинах в 800 раз превышает концентрацию ртути в воде.

1. *Виноградов К. О.* До питання про кормові площі донних риб північно-західної частини Чорного моря // Наук. зап. Одес. біол. ст.. - 1959, вип. 1. - С. 98 – 112.
2. *Егоров В. Н., Поликарпов Г. Г., Светашева С. К.* Загрязнение Черного моря ртутью с речным стоком и способность его вод к самоочищению в результате протекания биогеохимических циклов / Оценка расположенных на суше источников загрязнения морей, омывающих государства СНГ: Матер. междунар. конф. (6 – 10 апреля 1992 г.) – Севастополь, 1992. – С. 61 - 62
3. *Игошин А. М., Богусевич Л. Н.* Беспламенный атомно-адсорбционный метод определения ртути в воде // Гидрохимические материалы. - 1969. - **47**, С. 150 - 156.
4. *Киселева М. И., Славина О. Я.* Донные биоценозы у западного побережья Крыма // Тр. Севастоп. биол. станции. – 1964. - **15**, С. 152 – 177.
5. *Киселева М. И.* Бентос рыхлых грунтов Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1981. - 165 с.
6. *Костова С. К., Поповичев В. Н.* Распределение ртути в акватории черноморского побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Сб. научн. тр. МГИ НАН Украины. - Севастополь: Экоси-Гидрофизика., 2002. – вып. 1 (6). – С. 118 – 127.
7. *Патин С. А.* Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. - М.: Пищевая пром-сть, 1979. - 304 с.
8. *Поликарпов Г. Г., Терещенко Н. Н., Егоров В. Н.* и др. Молискологическое состояние Черного моря и возможности его кондиционирования / Динамика вод и продуктивность Черного моря. – М.: АН СССР Ин-т им. П. П. Ширшова. – 1988. – С. 328 - 421
9. *Поликарпов Г. Г., Терещенко Н. Н., Тимошук В. И.* и др. Хемозкологический мониторинг качества среды нижней краевой зоны обитания моллюска *Modiolus phaseolinus* в Черном море // ДАН Укр. ССР. - 1987. - Серия Б. - № 8. - С.77 - 80.
10. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде.- Л.: Химия, 1972. - 375 с.
11. *Прокофьев А. К., Степанченко Т. В.* Методы определения токсичных загрязняющих веществ в морской воде и донных осадках. - М.: Гидрометеиздат, 1981. - С. 34 - 42.
12. *Светашева С. К.* Исследование загрязнения ртутью районов дампинга Черного моря / Тез. докл. III съезд сов. океанологов, Ленинград, 14 – 19 дек. 1987 г. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 124.
13. *Терещенко Н. Н., Поликарпов Г. Г., Коваленко Т. П.* Мониторинговые исследования зоны поселения фазеолины в районе Каламитского залива Черного моря // Гидробиол. журн.. – 1992. – **28**, № 4. - С. 23 - 30.
14. Унифицированные методы мониторинга фонового загрязнения природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1986. – 180 с.
15. *Христофорова Н. К.* Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами.– Л.: Наука, 1989. – 192 с.
16. *Bernhard M., Zattera A.* Major pollutants in the marine environment / Mar. Pollut. Mar. Waste Disposal. - Perg. Press. – 1975. – P. 195 – 300.

Поступила 13 марта 2004 г.

**Хемоекологічний моніторинг забруднення ртуттю поселень фазеоліни в Чорному морі у південно-західних берегів Криму.** Н. М. Терещенко, Г. Г. Полікарпов, С. К. Костова. Представлені результати хемоекологічного моніторингу, що вміщує вивчення забруднення ртуттю води, донних відкладів і фазеоліни (*Modiolus phaseolinus*) у зоні біоценозу фазеоліни біля південно-західних берегів Криму в Чорному морі, а також просторовий розподіл чисельності та біомаси фазеоліни, розмірний склад моллюска як основні біологічні показники стану поселень фазеоліни. В період досліджень хемоекологічні умови не відбилися негативно на процесах росту та розмноження моллюска. Вміст ртуті в фазеолінах складав 15 – 20 % від гранично допустимої концентрації. Визначені коефіцієнти накопичення ртуті фазеоліною та донними відкладами.

**Ключові слова:** хемоекологічний моніторинг, *Modiolus phaseolinus*, просторовий розподіл, розмірний склад, забруднення ртуттю, коефіцієнти накопичення ртуті

**Chemoecological monitoring of mercury pollution of phaseolina settlements in the Black Sea near the south-western coast of the Crimea.** N. N. Tereshchenko, G. G. Polikarpov, S. K. Kostova. The results of chemoecological monitoring are presented. These include the investigations on mercury pollution of water, bottom sediment and phaseolina (*Modiolus phaseolinus*) in zone of phaseolina biocenoses near the south-western coast of the Crimea in the Black Sea and data on distribution of phaseolina number and biomass as well the size structure of bivalves as the main biological parameters of phaseolina settlements state. In period of investigations the chemoecological conditions were not found negatively influenced on growth and reproduction of bivalves. Mercury content in phaseolina was about 15 – 20 % of limited accepted concentration. Mercury concentration coefficients for phaseolina and bottom sediment were determined.

**Key words:** chemoecological monitoring, *Modiolus phaseolinus*, bathymetrical distribution, size structure, mercury pollution, mercury concentration factors

---

#### ЗАМЕТКА

---

**Кладоцера *Moina mongolica* – масовий вид в гіперсолених озерах-лагунах Кримського півострова [Cladocera *Moina mongolica* is an abundant species in hypersaline lakes-lagoons of the Crimean peninsula. - Кладоцера *Moina mongolica* – масовий вид у гіперсолених озерах-лагунах Кримського півострова].** В 2000 – 2002 гг. в двух морских по происхождению водоемах – оз. Бакальское, расположенном на п-ове Тарханкут, и оз. Херсонесское, расположенном на мысе Херсонес, при солёности 70 – 110 ‰ найден ветвистоусый рачок *Moina mongolica*, Daday, 1901 (Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий, т. 2., 1995). Ее легко спутать с *Moina micrura* Kurz, 1874 (Шадрин и др., 2001). В отличие от других моин, у *M. mongolica* торакальные конечности 1 пары ног без длинной щетинки на передней стороне предпоследнего сегмента. В обоих озерах рачки были представлены всеми стадиями развития, включая покоящиеся яйца – эфипидиумы. Рачки по численности доминировали или были субдоминантами в зоопланктоне. Плотность рачков была очень высокой. Порой они образовывали скопления в виде плотных шаров диаметром 30 – 50 см, в которых концентрация рачков достигала 10000 экз./л. Средний размер самок из Бакальского озера составлял  $1.03 \pm 0.046$  мм, в Херсонесском озере рачки несколько мельче. Этот вид является обитателем соленых водоемов юга Палеарктики, распространяясь на восток до Монголии. Ранее в гиперсолених озерах Крыма *M. mongolica* находили только в Сакских озерах (Ivanova et al., 1994). Мы сочли необходимым упомянуть наличие этого вида в крымских соленых озерах, поскольку он не приведен в известной сводке по ветвистоусым (Мануйлова, 1964) и в последнем обзоре по биоразнообразию Черного моря под редакцией Ю. П. Зайцева и Б. Г. Александрова (Black Sea Biodiversity, Ukraine, 1998). - **Ю. А. Загородняя, Н. В. Шадрин** (Институт биологии южных морей НАН Украины, Севастополь).