



УДК 574. 587 (262.5)

В. Е. Заика, чл.-корр. НАН України

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

ИЗМЕНЕНИЕ С ГЛУБИНОЙ ОБИЛИЯ МАКРО - И МЕЙОБЕНТОСА В ЧЁРНОМ МОРЕ

Анализируются обобщённые кривые, характеризующие изменение с глубиной биомассы макробентоса и численности мейобентоса Чёрного моря, полученные путем сведения воедино и усреднения данных разных съёмок. Пик макробентоса расположен на глубине, где доминирует сообщество хамелеи, и после максимума биомасса плавно снижается до нуля. Численность мейобентоса имеет основной максимум на глубине 120 м и на 160 м - второй пик. Эти пики связаны с особенностями распределения нематод, хотя в появлении второго пика заметный вклад внесли также приуроченные к гипоксической зоне мелкие полихеты. Пик на глубине 160 м отражает расположение оптимальной зоны некоторых видов мейобентоса, предпочитающих гипоксические условия у границы сероводородной толщи.

Ключевые слова: Чёрное море, макробентос, мейобентос, глубина, гипоксия.

В морях с увеличением глубины изменяются видовой состав макробентоса, встречаемость видов, их общая численность и биомасса. В Чёрном море, кроме глубины и обычно связанных с ней переменных (освещение, давление, турбулентность и т.д.), сказывается также влияние резкой вертикальной стратификации вод и перманентной сероводородной зоны. Таким образом, помимо генеральной реакции донной фауны на изменение глубины, здесь должны проявиться специфические особенности распределения зообентоса, обусловленные воздействием сочетания названных факторов.

В области шельфа граница заражённой зоны проходит на глубине около 170 м и ей предшествует прослойка гипоксических вод [2]. В Прибосфорском районе струя средиземноморской воды заглубляет границу аноксической зоны и макробентоса до 250 м [9].

Данные по макробентосу Чёрного моря, полученные с помощью дночерпателя, неоднократно приводились для разных районов моря. Назовем лишь недавние сводки [1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 13, 15]. Выполненные дночерпательные съёмки позволили получить большое разнообразие кривых, связывающих обилие бентоса с глубиной, причем проявляется изменчивость как региональная, так и временная, и кривые не повторяют одна другую.

В отличие от макробентоса, сведений о составе и количественном развитии мейобентоса, полученных на разрезах через разные глубины, гораздо меньше [7, 9, 11, 14, 16, 17]. Мейобентос теперь собирают не дночерпателем, а иными методами (геологическими трубками, бокс-корерами, мультикорерами). При этом прямое сравнение получаемых данных с дночерпательными материалами затруднено, поскольку при малой площади пробоотборников не учитываются крупные и редкие формы, зато снижаются потери мелких животных. Вычисление биомассы, обычное для макробентоса, в случае мейобентоса затрудняется в связи со сложностью определения индивидуальных весов мелких форм.

В настоящей работе приведены обобщённые материалы по изменению с глубиной обилия зообентоса (как макро-, так и мейофракции) Чёрного моря. Исходили из того, что при усреднении данных съёмок, выполненных в разные годы и в разных районах моря, региональные и временные различия частично нивелируются, и более чётко выявляется влияние факторов, связанных непосредственно с глубиной. Поэтому имеющиеся данные нескольких съёмок были объединены для получения усреднённой общей кривой «биомасса-глубина» для макробентоса и «численность-глубина» для мейобентоса.

Материал и методы. Материалы нескольких съёмок объединены в единый ряд по глубине и для каждой глубины вычислено среднее значение биомассы (для макробентоса) или численности (для мейобентоса). Использованные данные перечислены ниже.

Макробентос. Использованы данные дночерпательных съёмок макробентоса, выполненных у Кавказа (район Туапсе – 1968, 1986, 1989 гг.) и Крыма (район Ялты – 1970, 1986 гг.). Сбор материала осуществляли по разрезам, перпендикулярным к берегу, что позволяло учесть связь обилия бентоса с глубиной. Обработка материала выполнена по единой методике. Соответствующие данные опубликованы в табличном виде [3; табл. 5 – 13]. К этим материалам добавлены сведения о бентосе с глубин более 100 м, из тех же районов [7]. Данные 5 съёмок (разрезов) для каждой указанной в книге глубины усреднили.

Мейобентос. В отличие от данных по макробентосу, где были использованы материалы с одних и тех же глубин, в съёмках мейобентоса глубины часто не совпадали. Поэтому при объединении данных усредняли численность только для тех глубин, где имелось два и более (до шести) величин. Использованы данные, полученные в разные годы Н. Г. Сергеевой (1973, 2000, 2011) и другие материалы [7].

Кроме того, привлечены данные из [14; табл. 7 – 9]. Материалы получены в 1991–1997 гг. в западной половине моря, в основном, с помощью современных пробоотборников (бокс-корера и мульти-корера). Выполнено 6 разрезов с охватом глубин до 250 м. Приведены только сведения о численности зообентоса по основным таксономическим группам. По обсуждаемым данным [14] нами получены усреднённые кривые изменения численности макро- и мейобентоса по глубине.

Результаты и обсуждение Беглый анализ изменчивости макробентоса по данным дночерпательных съёмок.

Съёмки зообентоса, охватывающие большой диапазон глубин, проведены в разных районах и в разные периоды. При этом выявилась изменчивость распределения бентоса, о которой следует кратко упомянуть. Нижняя граница макробентоса, со времени первых съёмок отступила в сторону меньших глубин [1, 2, 5].

Данные, полученные в 1991–1997 гг. в западной половине моря [14], показали, что макрофауна, кроме крупных нематод, практически отсутствовала на глубинах более 130 м, что подтверждает обеднение макробентоса Чёрного моря на больших глубинах.

Двустворчатый моллюск хамелея (*Chamelea gallina*), почти постоянно доминирующий на глубинах 20 – 30 м, показывает частые и резкие колебания обилия в разных районах [8, 12]. Колебания обилия этого моллюска приводят к смещению глубины максимальной биомассы макробентоса: кроме основного пика биомассы, регистрировавшегося ранее на мидевых илах, на глубинах 26–50 м, уже в 1986 г. стал заметен второй пик, на меньших глубинах. Позже основной максимум окончательно сместился из зоны мидиевых илов в илисто-песчаную зону (13 – 25 м). Особенно ясно это видно при сравнении с 1930-ми годами. Причина изменений – увеличение плотности поселений хамелеи [8].

В 1989 г. на величину биомассы повлиял рост популяции двустворчатого моллюска-вселенца *Cunearca cornea*, вклад которого достиг к этому времени 24 %. Приведённые примеры региональной и временной изменчивости бентоса и вызвали необходимость усреднения величин обилия для выявления роли глубины. Они же показывают важность анализа видового состава для понимания происходящих изменений.

Влияние глубины на распределение биомассы макробентоса и численности мейобентоса. Известно, что максимальная биомасса зообентоса регистрируется на прибрежных скалах, где она может достигать в отдельных местообитаниях десятки $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ (в скоплениях мидии). Что же касается рыхлых грунтов, которые мы будем обсуждать далее, то биомасса макробентоса, несмотря на изменчивость, проявляемую в разных районах моря и в разные периоды, с увеличением глубины растёт, достигая максимума, а затем постепенно снижается (рис. 1).

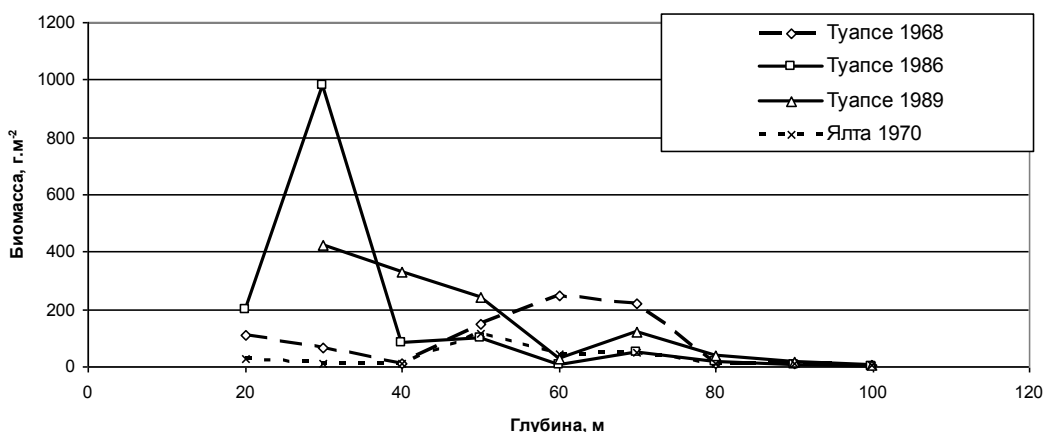


Рис. 1 Распределение биомассы макробентоса по глубинам в восточной половине Чёрного моря

Fig. 1 Distribution of macrobenthos biomass with depth in the eastern half of the Black Sea

Усреднение данных разных серий позволяет отвлечься от регионального и кратковременного варьирования кривых. Результирующая кривая изменения биомассы макробентоса для районов Крыма и Кавказа приве-

дена на рис. 2. Можно видеть, что пик средней биомассы в период исследований был расположен на глубинах, где доминирует сообщество хамелеи, и что после максимума биомасса относительно плавно снижается до нуля.

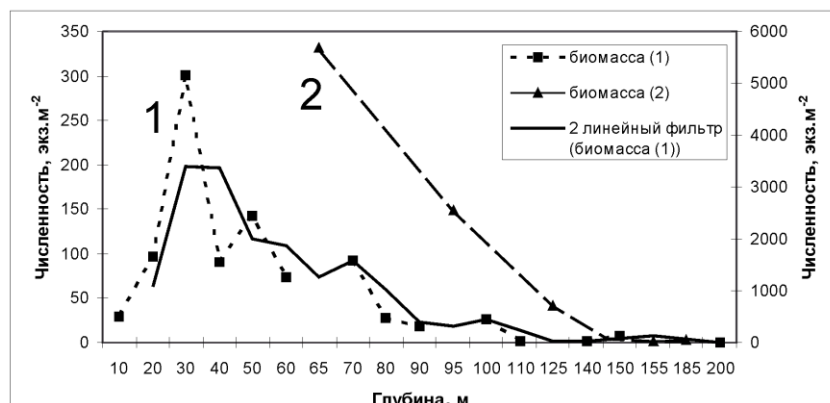


Рис. 2 Обобщённые кривые изменения биомассы макробентоса по глубинам (1 – у берегов Крыма и Кавказа; 2 – у берегов Румынии [13])

Fig. 2 Generalized curves for changes in the biomass of macrobenthos with depth (1 – the Crimean and Caucasus coast; 2 – the Romanian coast [13])

Переходя от макробентоса к меньшей размерной группе, начнём с имеющихся оценок биомассы мейобентоса [6, 7], что позволит сравнить весовую долю обеих групп. Средняя биомасса мейобентоса в Чёрном море, в сообществе иловой мидии составляет 0.65 г.м^{-2} , а в сообществе фазеолины 0.1 г.м^{-2} [6]. Более детальные данные для шельфа Крыма и Кавказа приведены в интервале глубин 100 – 200 м [7]; усреднение их по двум районам даёт следующие результаты, характеризующие восточную половину моря в целом:

| Глубина, м | 100 – 110 | 120 – 125 | 150 | 200 |
|-----------------------------|-----------|-----------|------|-------|
| Биомасса, г м^{-2} | 0.52 | 0.65 | 0.16 | 0.004 |

Биомасса макробентоса на глубинах 100 м и более в Чёрном море обычно не превышает $4 - 8 \text{ г м}^{-2}$. Следовательно, биомасса макро- и мейобентоса на обсуждаемых глубинах различается на порядок. Будем иметь это ввиду, поскольку далее будут обсуждаться только величины численности мейобентоса. Имеющиеся данные показывают, что в составе мейобентоса преобладает эвмейобентос [16]. Поскольку псевдомейобентос представлен ранними стадиями развития видов макробентоса, то по мере убывания числа видов этой группы с приближением границы аноксической зоны преобладание эвмейобентоса усиливается.

Объединение данных, полученных в разные периоды исследований [9, 16, 17], приводит

к усреднённой кривой численности мейобентоса (рис. 3).

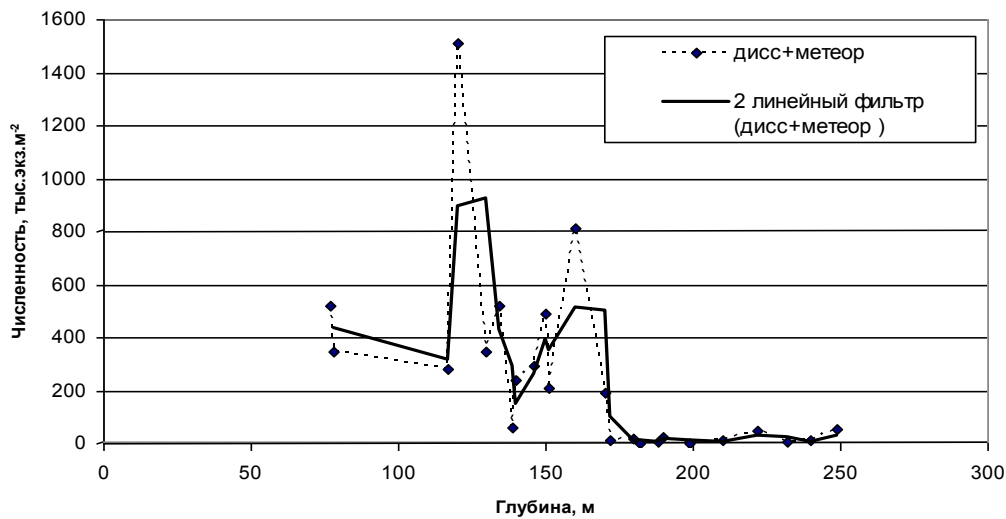


Рис. 3. Изменение численности мейобентоса по глубинам Чёрного моря (по объединённым данным Н. Г. Сергеевой (2000, 2007, 2011))
Fig. 3 Evolution of the meiobenthos with the depths in the Black Sea (N. G. Sergeeva, united data (2000, 2007, 2011))

Основной максимум обилия приходится на глубину 120 м, но на глубине 160 м имеется второй значительный пик. Обсуждённые данные по изменению макробентоса с глубиной получены в одном коллективе (ИнБЮМ) по дночерпательным пробам и характеризуют восточную половину моря (районы Крыма и Кавказа). Полученные кривые «бентос-глубина» полезно сравнить с материалами из других институтов, поскольку методы сбора и обработки дночерпательных проб всегда имеют некоторые отличия, не говоря уже о местах отбора. По макробентосу сошлёмся на исследования румынских коллег [13] у западного побережья Чёрного моря. Результирующая кривая изменения биомассы с глубиной, в целом, сходна с полученной нами (рис. 2, кривая 2).

Привлечём также данные по распределению численности бентоса, полученные специалистом из Германии [14]. Усреднив данные бокс-корера и мульти-корера по шести разрезам для западной половины моря получаем кривые изменения численности макро- и мейобентоса с глубиной (рис. 4).

Сравнивая полученную кривую численности макробентоса с кривой изменения биомассы (рис. 2), отметим, что основной пик численности наступает ближе к глубине 100 м и падение после него происходит более резко, но и биомасса (в восточной половине моря), и численность (в западной половине) вскоре после глубины 100 м становятся весьма низкими.

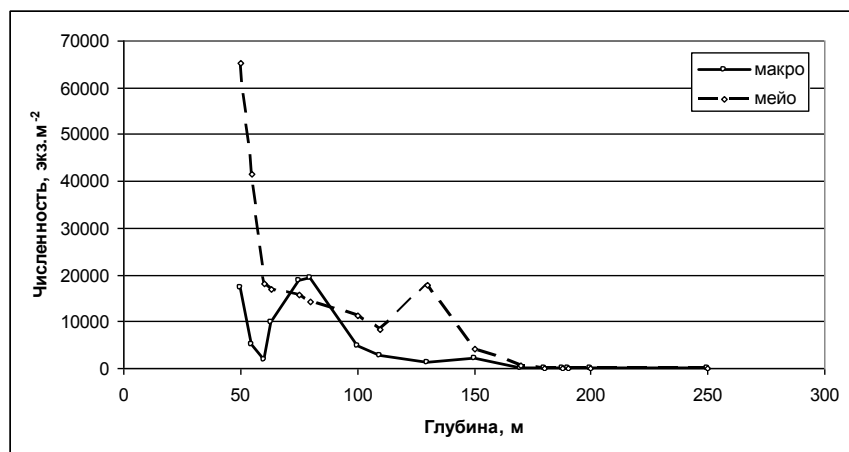


Рис. 4 Средняя численность макро- и мейобентоса, по [14]
Fig. 4 Average number of macro- and meiobenthos [14]

Что же касается двух кривых численности мейобентоса (рис. 3 и 4), то при их сравнении следует учитывать, что обе они получены по материалам из западной половины моря.

Но в первом случае к мейобентосу отнесли животных, проходивших через сито 1 мм и задерживаемых ситом 63 мкм [16], во втором – животных размером <500 мкм [14], кроме того, на графиках использована разная размерность. Наибольшая зарегистрированная численность на рис. 3 и 4, например, различается в 20 раз (1500000 и 70000 экз. м⁻²).

Согласно приведённым данным, в Чёрном море, начиная с определённой глубины, наблюдается общая тенденция снижения обилия зообентоса. Наибольший интерес вызывают скачки на кривой «обилие-глубина». Если на малых глубинах скачки обилия можно объяснить многими причинами, придающими местообитанию свойства пятнистости, например, влиянием волнения, сменой грунта, типа сообщества и т.д., то на глубинах более 50 – 60 м в широком поясе фазеолиновых илов абиотические условия меняются более плавно.

Влияние факторов, относимых обычно к случайным (включая методические), мы пытались снять усреднением, а затем с помощью линейного фильтра (рис. 2, 3). Но оставшиеся значительные колебания обилия, имеющие на

кривых вид пиков, скорее всего, связаны с особенностями поясного распределения отдельных видов, входящих в соответствующую группу зообентоса. Так, описанное выше повышение биомассы хамелеи объясняет положение наблюдаемого пика общей биомассы макробентоса.

Пики численности мейобентоса на 120 и 160 м (рис. 3) вызваны особенностями распределения нематод, хотя заметный вклад в появление второго пика внесли также приуроченные к гипоксической зоне мелкие полихеты [16]. На кривой мейобентоса (рис. 4) первый пик (глубина 50 м) невозможно сравнить с рис. 3, на котором данные приведены, начиная с 77 м. Пик на глубине 130 м (рис. 4) считаем аналогичным пику на глубине 160 м (рис. 3), поскольку эти пики отражают реакцию некоторых видов нематод на приближение границы сероводородной зоны. Для этих видов, как и для полихеты *Vigtorniella zaikai*, оптимальная для обитания полоса дна лежит там, где наблюдается минимальная концентрация кислорода [16].

1. Заика В. Е. Изменение количества видов макробентоса в Чёрном море на глубинах 50 – 120 м // Докл. АН УССР. – 1990. – Сер. Б, №11. – С.68 – 71.
2. Заика В. Е. О подходах к оценке макрофауны у нижней границы аэробной бентали Чёрного моря // Морск. экол. журн. – 2009. – 8, №3. – С. 25 – 28.
3. Заика В. Е., Киселева М. И., Михайлова Т. В. и др. Многолетние изменения зообентоса Чёрного моря. - Киев: Наукова думка, 1992. – 248 с.
4. Заика В. Е., Макарова Н. П. Продукция зообентоса Чёрного моря // Экология моря. – 1990. – Вып. 34. – С. 82 – 87.
5. Заика В. Е., Сергеева Н. Г. Макрозообентос нижних горизонтов черноморского шельфа (глубже 40 – 50 м) по данным последних съёмок XX века // Экология моря. – 2001. – Вып. 57. – С. 25 – 30.
6. Киселёва М. И. Зообентос / Грезе В.Н. Основы биологической продуктивности Чёрного моря. - Киев: Наук. думка, 1979. – С. 208 – 218.
7. Киселёва М. И. Распределение бентоса в нижней зоне шельфа у побережий Крыма и Кавказа // Деп. ВИНТИ, №5390-85Деп. – 1985. – 18 с.
8. Ревков Н. К. Макробентос / Еремеев В. Н., Гаевская А. В. Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – С. 209 – 222.
9. Сергеева Н. Г. Зональное распределение мейобентоса и его важнейшего компонента – свободноживущих нематод в Чёрном море: автореф. дисс. ... докт. биол. наук. – Севастополь, 2001. – 34 с.
10. Сергеева Н. Г., Заика В. Е., Бондарев И. П. Нижняя граница зообентоса в Прибосфорском районе Чёрного моря // Морск. экол. журн. – 2011. – 10, №1 – С. 65 – 72.
11. Сергеева Н. Г., Колесникова Е. А. Результаты изучения мейобентоса Чёрного моря // Экология моря. - 1996. - вып.45. - С.54 – 62.
12. Chikina M. V., Kucheruk N. V. Changes in species structure of the Black Sea coastal benthic communities. Oceanography of Eastern Mediterranean and

- Black Sea // Ankara, Tubitak Publ. – 2003. – P. 897 – 901.
13. *Gomoiu M.-T., Begun T., Teaca A.* Macrobenthos distribution along the depth gradient in the North-western Black Sea // IGCP 521-INQUA 0501 Fourth Plenary Meeting, Bucharest (Romania) – Varna (Bulgaria). – 2008. – P. 63 – 65.
 14. *Luth U.* The benthos of the oxic/anoxic interface in the western Black Sea: comparative macro- and meiofauna investigation on transect from the Ukrainian, Romanian and Turkish shelf // International Workshop on the Black Sea benthos. Mokievsky V. O., Topaloglu B. (eds.). Turkey, Istanbul: TODAV Publ., 2004. – P. 9 – 74.
 15. *Revkov N. K.* et al. Ukrainian shelf area // State of the environment of the Black Sea (2001 – 2006/7) // Ed. T.Oguz. Publ.Comm.Protect.Black Sea (BSC). 2008-3, Istanbul, Turkey. – 2008. – **8** – P. 273 – 320. (<http://ps.blacksea-commission.org/ministerial2009/soe.html>).
 16. *Sergeeva N. G., Gooday A. J., Mazlumyan S.* et al. Meiobenthos of oxic/anoxic interface in the south-western region of the Black Sea: abundance and taxonomic composition // *Anoxia: Paleontological Strategies and Evidence for Eukariote Survival*. Springer? 2011. – 380p.
 17. *Sergeeva N. G., Gulin M. B.* Meiobenthos from an active methane seepage area in the NW Black Sea // *Marine Biol.* – 2007. – **28**. – P. 152 – 159.

Поступила 10 июля 2011 г.

Зміна з глибиною рясності макро- і мейобентосу в Чорному морі. В. Є. Заїка. Аналізуються узагальнені криві, що характеризують зміна з глибиною біомаси макробентоса і чисельності мейобентосу Чорного моря, отримані шляхом зведення і усереднення даних різних зйомок. Пік макробентоса розташований на глибині, де домінує співтовариство хамелеї, і після максимуму біомаса плавно знижується до нуля. Чисельність мейобентосу має основний максимум на глибині 120 м і на 160 м – другий пік. Ці піки пов'язані з особливостями розподілу нематод, хоча в появу другого піку помітний внесок зробили також приурочені до гіпоксичної зони дрібні поліхети. Пік на глибині 160 м відображає розташування оптимальної зони деяких видів мейобентосу, що віддають перевагу гіпоксичним умовам біля кордону сірководневої товщі.

Ключові слова: Чорне море, макробентос, мейобентос, глибина, гіпоксія.

The Black Sea macro- and meiobenthos abundance change with depth. V. E. Zaika. The generalized curves, characterizing change with depth of macrobenthos biomass and meiobenthos abundance in the Black Sea and which were received by putting together and averaging the data of different surveys have been analyzed. The peak of macrobenthos is located at the depth where *Chamelea* community dominates, and after getting to maximum biomass smoothly decreases to zero. Abundance of meiobenthos has the main maximum at 120 m depth and second peak at 160 m. These peaks are connected with peculiarities in nematodes distribution, while small polychaeta attributed to the hypoxic zone also contributed considerably to appearance of the second peak. The peak at the 160 m depth depicts location of the optimal zone of some meiobenthos species, preferring hypoxic conditions near the boundary of the hydrogen sulfide column.

Key words: Black Sea, macrobenthos, meiobenthos, depths, hypoxia