



УДК 593.17:546.221.1(262.5)

Н. Г. Сергеева, докт. биол. наук, зав. отделом, **В. Е. Заика**, чл.-корр НАН Украины, гл. науч. сотр.

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

ЦИЛИОФОРЫ В СЕРОВОДОРОДНОЙ ЗОНЕ ЧЁРНОГО МОРЯ

Приведены предварительные сведения о первых находках Ciliophora на глубоководном дне (глубины 120 – 240, 832, 1807 и 2075 м) Чёрного моря. Пробы взяты современными пробоотборниками 24 февраля – 10 марта 2007 г. в северо-западной и северо-восточной частях Чёрного моря во время рейса M72/2 MICRONAB на НИС «Метеор» (Германия). Инфузории встречены в пробах придонной воды, среди детрита и в верхнем слое осадка (0 – 1 см) во всём диапазоне исследованных глубин. Среди Ciliophora отмечены как свободноподвижные, так и прикрепленные формы, общее разнообразие – не менее 30 видов (морфотипов), размеры особей от 80 – 100 до 230 – 800 мкм. В каждой пробе найдено от 1 – 16 до 223 экз. инфузорий. Наиболее велика общая численность (156 – 223 экз. в пробе) инфузорий на глубинах 160 – 170 м. На глубине 832 м обнаружены 21 особь, на глубинах 1807 и 2075 м – соответственно 5 экз. и 1 экз. инфузорий. Обсуждаются последние данные о присутствии цилиат в анаэробных морских водах (во фьорде Фрамварен и впадине Кари-ако).

Ключевые слова: Ciliophora, сероводородная зона, Чёрное море

В результате инвентаризация фауны как планктонных, так и бентосных инфузорий в Чёрном море установлено, что видовое разнообразие планктонных Ciliophora в этом водоёме невелико (29 форм) [4, 10]. Они не играют значительной роли в тотальной биомассе планктона, и даже от биомассы микрозоопланктона инфузории составляют не более одной трети [2]. В Чёрном море Ciliophora известны в пелагических аэробных местообитаниях, имеются отрывочные сведения по слою оксиклина и переходной зоне. Несмотря на отмеченное видовое богатство донных цилиат, обследование больших глубин адекватными методами, позволяющими сколько-нибудь надёжно учитывать инфузорий, не проводилось.

В отделе экологии бентоса ИнБЮМ выполняется планомерное обследование мейо- и микробентоса, с использованием современных пробоотборников. Это позволяет расширить данные о пространственном распределении различных групп организмов на ранее не-

обследованных глубинах. Большое внимание уделяется встречаемости эукариотных организмов ниже границы сероводородной зоны, где найдены представители многих таксономических групп [6 – 8, 24, 27].

В настоящей работе приведены первые сведения о многообразии донных инфузорий на больших глубинах Чёрного моря, в том числе в перманентной сероводородной зоне.

Материал и методы. Пробы получены в период с 24 февраля по 10 марта 2007 г. в Чёрном море в рейсе M72/2 MICRONAB на НИС «Метеор» (Германия) в рамках международного проекта HERMES. Рейс выполнялся под руководством проф. Антье Бетью (Antje Voetius). Пробы взяты по разрезу вдоль северо-западного материкового склона Крымского полуострова в акватории газовых сипов, от глубины 120 до 240 м, через каждые 10 м глубины, и на глубине 832 м. Кроме того, исследованы пробы из района Двуреченского грязевого вулкана с глубин 1807 и 2075 м.

Пробы отбирали специальными пробоотборниками, пуш-корером и мультипле-корером [12]. Эти приборы позволяют получать колонку грунта без нарушения стратификации с сохранением аккумулярованного на её поверхности аморфного слоя детрита, а также контактного слоя воды. Попадание в пробу воды и организмов извне по ходу подъёма исключено.

Из каждой колонки фиксировали 4 % формалином придонный слой воды, 75 % спиртом – детрит и грунт по слоям толщиной в 1 см. В лаборатории ИнБЮМ их промывали фильтрованной водой через два сита (верхнее с ячейей 1 мм, нижнее 64 мкм). Оставшийся на сите осадок окрашивали Бенгальским розовым.

Использование описанной методики позволило найти цилиат разнообразной формы в бентали изученных глубин. По общему строению они не отличаются от типичных донных видов. Многие из них встречались единично, что затрудняет исследование их строения для определения вида. К сожалению, не использовались специфические методы для

изучения морфологии клеток цилиат, а также молекулярный анализ последовательности генов рибосомальной РНК [13, 26]. Кстати, применение последнего метода показывает, что многие формы цилиат оказываются новыми, «сестринскими» ранее описанным, и это заставляет не спешить с попытками определения видовой принадлежности найденных цилиат старыми способами, по морфологии клетки. Кроме того, не все собранные пробы полностью обработаны, поэтому ниже приводятся только предварительные сведения о находках.

Результаты и обсуждение. В обработанных пробах найдены инфузии различных морфотипов, размерами от 80 – 100 до 230 – 800 мкм. Среди них встречаются как свободноподвижные, так и прикреплённые формы. Судя по предварительным данным, найдено не менее 30 видов, или, по меньшей мере, морфотипов. Некоторое впечатление о разнообразии форм дают фотоснимки (рис. 1). В каждой пробе обнаружено от 1 – 16 до 223 экз. инфузрий.

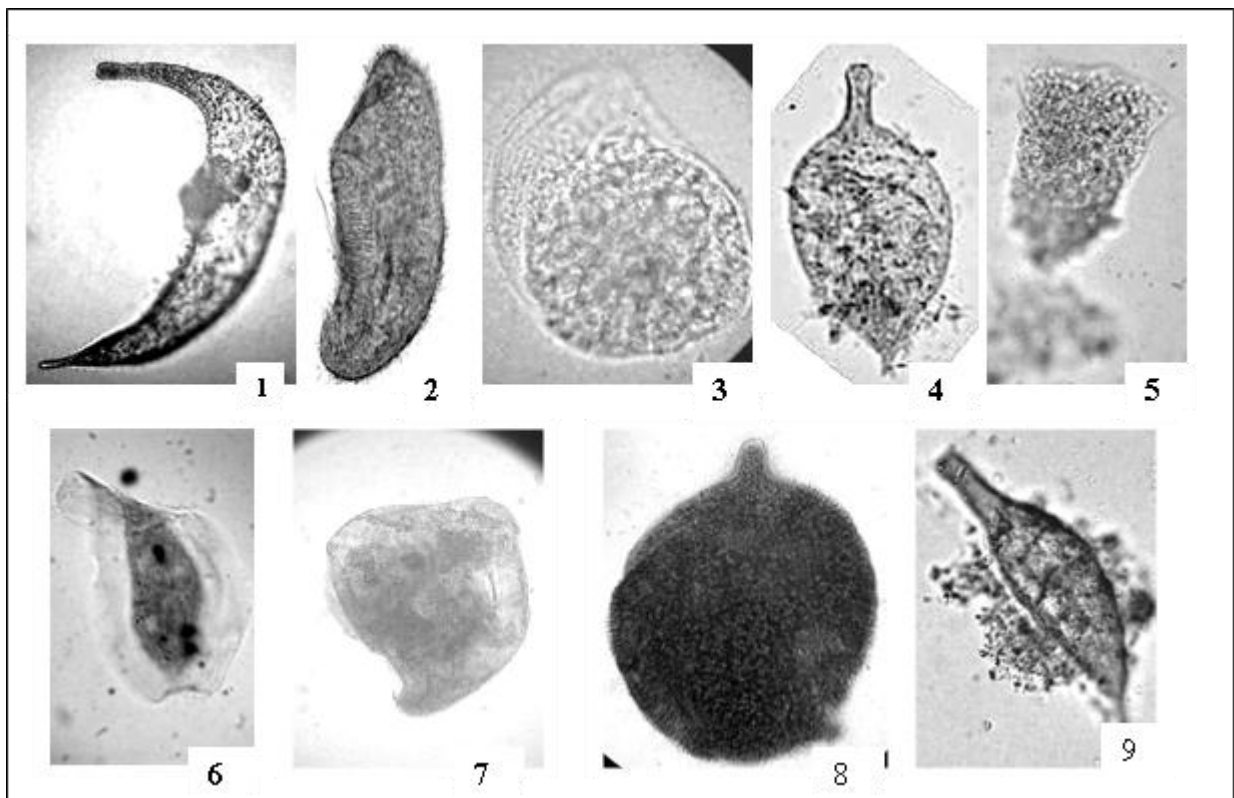


Рис.1 Представители глубоководных инфузрий; Fig. 1 Deep-water Ciliophora

Встреченные Ciliophora регистрировались иногда в придонной воде, но чаще среди детрита и в верхнем слое осадка (0 – 1 см). Инфузории найдены в пробах со всех исследованных глубин СЗ материкового склона Крыма (120, 140, 150, 160, 170, 190, 210, 230, 240 и 832 м), а также в пробах из района Двуреченского грязевого вулкана (1807 и 2075 м). При этом наблюдается определённое повышение обилия инфузорий на глубинах 160 – 170 м, где наиболее велика их общая численность (156 – 223 экз. в пробе). С увеличением глубины численность инфузорий в пробе, в целом, плавно убывает. На глубине 832 м найдена 21 инфузория, на 1807 м – 5 экз., а на 2075 м – 1 экз.

Ранее при исследовании вертикального распределения сообществ гетеротрофного микропланктона [5] в толще Чёрного моря выделено четыре биотопа и указаны отличия в составе обитающих в них инфузорий. Кстати, сходным образом выделяют биотопы с сообществами простейших и в датских меромиктических фьордах [18].

Верхний биотоп в Чёрном море простирается до оксиклина и основного пикноклина. Основные виды цилиат указаны для этой зоны. Второй биотоп – воды с концентрацией кислорода около 0.3 – 0.5 мл/л. В самых нижних слоях кислородной зоны встречался представитель семейства Mesodiniidae, который проник даже в третий биотоп – зону сосуществования кислорода и сероводорода (С-слой) и найден при концентрации сероводорода 0.15 мл/л [5]. В том же С-слое найдена некрупная инфузория с бактериями-симбионтами на поверхности. Есть и другие отрывочные сведения о составе простейших этих вод [3, 9]. Сейчас само существование С-слоя вызывает сомнения [1]. Впрочем, всеми признаётся, что в центральной части моря сероводород в воде появляется на 80 – 110 м, а на периферии – на 160 – 250 м [1, 25]. Четвёртый биотоп включает воды сероводородной зоны; инфузории для этого биотопа не указаны [5].

Разнообразие бентосных Ciliophora Чёрного моря значительно богаче такового пелагиали. В недавних сводках [10, 11] общий список бентосных инфузорий содержит 476 видов из 147 родов. Впрочем, сами авторы нашли у северо-кавказских берегов только 168 видов (из них 35 впервые отмечены для Чёрного моря). Если учесть, что не все указанные в старой литературе формы надёжны, можно сомневаться в числе видов, внесённых в общий список, но ясно, что по видовому богатству инфузорной фауны пелагиаль не сравнима с бенталью. Самая глубоководная проба авторами получена с глубины 432 м. Все пробы с глубин более 12 м взяты дночерпателем «Океан-0.1», при медленном подъёме, чтобы препятствовать размыванию поверхности грунта [11]. Наиболее разнообразны виды не на минимальных глубинах, а на 3 – 10 м, где меньше влияют волны. Далее разнообразие падает, на глубинах более 100 м инфузорий не найдено [11].

Как свидетельствуют новые методы молекулярной идентификации цилиат [15, 19], даже хорошо различаемые виды могут иметь морфологически сходных двойников. Виды, адаптированные к жизни в таких специфических условиях, какие создаёт присутствие в воде сероводорода, вполне могут иметь физиолого-биохимические и генетические отличия видового уровня. В любом случае определение таксономического состава обитателей черноморских анаэробных вод представляется трудоёмкой задачей будущего.

Однако, тщательная идентификация видового состава глубоководных видов инфузорий сейчас не так актуальна, как обоснование того, что находки действительно сделаны на глубоководном дне Чёрного моря, а не являются методической ошибкой, не привнесены случайно и т.д. Подобные сомнения возникают у тех исследователей, которым трудно отказать от получаемых из разных источников сведений о том, что в Чёрном море ниже 200 – 250 м нет жизни, кроме бактериальной, а на

личие сероводорода делает присутствие большинства типов жизни невозможной.

Поэтому одной из целей настоящего сообщения было обоснование того, что присутствие инфузорий в сероводородной зоне Чёрного моря, в свете данных последних десятилетий, не является невозможным. Так, уже довольно давно известно, что многие группы простейших, грибов, низших метазоа встречаются в прибрежных осадках, имеющих «сульфидную систему». Они исчезают при окислении осадка, что отражает адаптированность этих специфических сообществ к дефициту кислорода. В анаэробных пятнах ила живут серные бактерии, бесцветные эвгленовые и цилиаты. В таких пятнах жизнь даже более разнообразна [21].

Из цилиат *Geleia nigriceps*, например, известна способностью обитать в прибрежном осадке выше и ниже редокс-границы, в условиях аноксии [20]. Такими же особенностями отличаются виды родов *Plagiopyla* и *Metopus* [17, 22]. Выделяют среди инфузорий истинных анаэробов, например, *Trimyema* sp. [16].

Анаэробные условия создаются вблизи глубоководных тепловодных истечений (так называемых вентов). Эти воды, содержащие сероводород, являются донором электронов для экосистем, основанных на активности прокарриот, окисляющих сульфиды и тиосульфаты. Тем самым осуществляется анаэробный хемосинтез [23].

Таким образом, встречаемость цилиат в присутствии некоторых концентраций сероводорода не должна казаться удивительной. Наконец, недавно обнаружено, что инфузории присутствуют и в постоянно аноксических водах фиорда Фрамварен (Норвегия) [13 – 14]. Кстати, в этом фьорде на дне уровень сероводорода в 25 раз выше, чем в Чёрном море. Пробы на биоту брали здесь на трёх глубинах: на 18 м, на границе аэробных и анаэробных вод, на 23 м, где находился пикноклин и наблюдалось появление H_2S (0.18 милли-моль/л), и на 36 м, где концентрация H_2S составляла

0.6 мМ – вдвое выше, чем на глубинах более 1000 м в Чёрном море.

Анализ проб из фиорда [14] проводили с помощью молекулярного подхода, методом филогенетического анализа последовательности генов рибосомальной РНК (18S rRNA). Были созданы библиотеки клонов для каждой исследованной глубины. Данные показали, что у верхней границы H_2S (на 23 м) было больше всего фило типов (147), на 18 м выделено только 64 фило типа, на 36 м – 27. Из инфузорий отмечены представители Plagiopylidae, Strombidiidae, Nyctotheridae, Cycloidae, Prorodontidae.

Сходные данные получены при исследовании перманентно аноксичного бассейна Кариакто (Карибское море) [26], где отмечены представители инфузорий из Spirotrichea, Litosomatea, Heterotrichea, Karyorelictea и др.

Таким образом, материалы, полученные в последние годы, позволяют считать наличие инфузорий в водах, заражённых сероводородом, реальным фактом, подтверждённым на различных акваториях. Объяснения особенностей протекающих при этом в организме физиолого-биохимических процессов, несомненно, появятся в будущем, и тогда само явление перестанет казаться удивительным.

Впрочем, после находок различных представителей мейобентосных Metazoa на глубоководном дне Чёрного моря [8, 24], способность Ciliophora к жизни в обсуждаемых экстремальных условиях тоже должна выглядеть тривиально.

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке проекта HERMES, контракт № GOCE-CT-2005-511234 (EC). Авторы глубоко признательны проф. Антье Боетью (Antje Boetius) за предоставленную возможность отбора проб донных осадков в рейсе НИС «Метеор» и Е. А. Ивановой за выполненный отбор проб.

1. Еремеев В. Н., Коновалов С. Г. К вопросу о формировании бюджета и закономерностях распределения кислорода и сероводорода в водах Черного моря // Морск. экол. журн.. – 2006. – 5, 3. – С. 5 – 30.
2. Заика В. Е., Морякова В. К., Островская Н. А., Цалкина А. В. Распределение морского микрозоопланктона. – К.: Наук. думка, 1976. – 92 с.
3. Моисеев Е. В., Мамаева Н. В. Простейшие у верхней границы сероводородной зоны // Докл. АН СССР. – 1979. – 248. – С. 506 – 508.
4. Поликарпов И. Г., Сабурова М. А., Манжос Л. А., Павловская Т. В., Гаврилова Н. А. Биологическое разнообразие микропланктона прибрежной зоны Черного моря в районе Севастополя (2001 – 2003 гг.) / Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма. – Севастополь: Экокси-Гидрофизика, 2003. – С. 16 – 42.
5. Сажин А. Ф., Зубков М. В., Дробкова В. Г. Гетеротрофный микропланктон нижних слоев кислородной зоны весной 1988 г. / Изменчивость экосистемы Черного моря. – М.: Наука, 1991. – С. 204 – 210.
6. Сергеева Н. Г. К вопросу о биологическом разнообразии глубоководного бентоса Черного моря // Экология моря. – 2000. – Вып. 50. – С. 57 – 62.
7. Сергеева Н. Г. *Pseudopenilia bathyalis* gen. n., sp.n. (Crustacea, Branchiopoda, Stenopoda) – обитатель сероводородной зоны Чёрного моря // Вестник зоологии. – 2004. – 38 (3). – 37 – 42.
8. Сергеева Н. Г., Заика В. Е. Обнаружение донных стадий *Krassilnikoviae* в сероводородной зоне Черного моря // Экология моря. – 1999. – Вып. 48. – С. 83 – 86.
9. Сорокин Ю. И., Вишивцев В. С., Домников В. С. Биологическая структура вод, ее изменчивость и состояние гидробионтов / Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения. – М.: Недра, 1996. – С. 266 – 313.
10. Azovsky A. I., Mazei Y. A. A conspectus of the Black Sea fauna of benthic ciliates // Protistology. – 2003. – 3, 2. – P. 72 – 91.
11. Azovsky A. I., Mazei Y. A. Distribution and community structure of benthic ciliates in the North-Eastern part of the Black Sea // Protistology. – 2005. – 4, 2. – P. 83 – 90.
12. Barnett P.R., Watson o. & Conelly J. A multiple corer for taking virtually undisturbed samples from shelf, bathyal and abyssal sediments // Oceanol. Acta. – 1984. – 7. – P. 399 – 408.
13. Behnke A., Breiner H.-W., Stoek T. Unexpected diversity of eukaryotes in extremes of anoxicity: the Framvaren fjord in Norway // Geophys. Res. Abstracts. – 2005. – 7 – 00159.
14. Behnke A., Bunge J., Barger K., Breiner H.-W., Alla V., Stoek T. Microeukariote community patterns along an O₂/H₂S gradient in a supersulphidic anoxic fjord (Framvaren, Norway) // Appl. Environ. Microbiol. – 2006. – 72, 5. – P. 3626 – 3636.
15. Chen Z., Song W., Warren A. Species separation and identification of *Urorythia* spp. (Hypotrichia: Ciliophora) using RAPD fingerprinting and AR-DRA riboprinting // Acta Protozool. – 2003. – 42. – P. 83 – 90.
16. Dando P. R., Fenchel T., Jensen P., O'Hara S. C. M., Niven S. J., Schuster U. Ecology of gassy, organic-rich sediment in a shallow subtidal area on Kattegat coast of Denmark // MEPS. – 1993. – 100. – P. 265 – 271.
17. Embley T. M., Finlay R. H., Thomas R. H., Dyal P. L. The use of rRNA sequences and fluorescens probes to investigate phylogenetic positions of anaerobic ciliate *Metopus palaeformi* archaeobacterial endosymbiont // J.Gen. Microbiol. – 1992. – 138, pt.7. – P. 1479 – 87.
18. Fenchel T., Kristensen L. D., Rasmussen L. Water column anoxia: vertical zonation of planktonic protozoa // MEPS. – 1990. – 62. – P. 1 – 10.
19. Fried J., Ludwig W., Psenner R., Schleifer K. H. Improvement of ciliate identification and quantification: a new protocol for fluorescence in situ hybridization (FISH) in combination with silver stain techniques // Syst. Appl. Microbiol. – 2002. – 25, 4. – P. 555 – 571.
20. Hartwig E., Wieser W. Investigations on the eco-physiology of *Geleia nigriceps* Kahl (Ciliophora, Gymnostomata) inhabiting a sandy beach in Bermuda // Ecologia. – 1977. – 31, 2. – P. 159 – 175.
21. Lackey J. B. Bottom sampling and environmental niches // Limol. Oceanogr. – 1961. – 6, 3. – P. 271 – 279.
22. Massana R., Pedros-Alio C. Role of anaerobic ciliates in planktonic food webs: abundance, feeding, and impact on bacteria in the field // Appl. Environm. Microb. – 1994. – 60, 4. – P. 1325 – 1334.
23. Schlegel H. G., Jannasch H. W. 2000. Prokariotes and their habitats. <http://microimm.queensu.ca/micr433/pdf>
24. Sergeeva N. G., Gulin M. B. Meiobenthos from an active methane seepage area in NW Black Sea. // Marine Ecology. – 2007. – 28. – P. 152 – 159.
25. Sorokin Y. I. On the structure of the Black Sea redox zone // Oceanology. – 2005. – 45, supp.1. – P. 51 – 60.

26. Stoek T., Taylor G. T., Epstein S. S. Novel eukaryotes from the permanently anoxic Cariaco basin (Caribbean Sea) / Appl. Environ. Microbiol. – 2003. – P. 5656 – 5663.
27. Zaika V. E., Sergeeva N. G., Kiseleva M. I. Two polychaete species bordering deep anoxic waters in the Black Sea // Tavricheskiy medicobiologicheskii vestnik. – 1999. – 1 – 2. – P. 56 – 60.
- Поступила 13 сентября 2007 г.*

Ciliophora у сірчановодневій зоні Чорного моря. Н. Г.Сергієва, В. Е. Заїка. Попередні відомості о перших знахідках Ciliophora на глибоководному дні (глибини 120 – 230, 832, 1807 и 2075 м) Чорного моря. Проби взяті сучасними пробовідбірниками 24 лютого – 10 березня 2007 р. у рейсі НДС „Метеор”. Інфузорії зустрічаються у пробах у всьому діапазоні глибин. Ciliophora реєструвалися у придонній воді, частіше серед детри-ту та у поверхневому шарі осаду (0 – 1 см). Трапляються як вільнорухливі, так і прикріплені форми, загаль-не різноманіття – не менше 30 видів (морфотипів), розміри особень від 80 – 100 до 230 – 800 мкм. У кожній пробі було знайдено від 1 – 16 до 223 екз. інфузорій. Найбільш велика загальна чисельність (156 – 223 екз. у пробі) інфузорій на глибинах 160 – 170 м. На глибині 1807 м у пробі знайдено 5 екз. інфузорій, на глибині 832 і 2075 м – по 1 екз. Обговорюються останні данні о присутності циліат в аноксичних морських водах (у фіорді Фрамварен та западені Каріако).

Ключові слова: сірчановоднева зона, присутність Ciliophora, Чорне море

Ciliophora in deep sulphidic water of the Black Sea. N. G. Sergeeva, V. E. Zaika. Preliminary data on presence of Ciliophora on deep-sea bottom (depth 120 – 230, 832, 1807 and 2075 m) in the Black Sea are presented. Samples were taken from 24 February to 10 March 2007 during RV Meteor cruise M72/2 MICROHAB. Ciliates were regis-tered in all samples in near-bottom water, in detritus and in upper layer (0–1cm) of sediment. Different forms were present, including moving forms and attached, totally about 30 species (morphotypes). Individual sizes were from 80 – 100 to 230 – 800 micron. Cell number of Ciliophora was from 1 – 16 to 223 in each sample. The biggest number was (156 – 223 cell/sample) at the depth of 160 – 170. Only 5 cells were registered in 1807 m and one by one cell in 832 m and 2075 m samples. Short review of Ciliophora species diversity in pelagic oxic waters and benthic oxic en-vironment is present. The new data on presence of Ciliophora in permanently anoxic waters of Framvaren fjord and Cariaco basin are discussed.

Key words: hydrogen sulphide zone, presence of Ciliophora, Black Sea