

УДК 551.79:550.86(265.1)

М.П. ЧЕХОВСКАЯ, И.И. БУРМИСТРОВА

## ФОРАМИНИФЕРЫ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В СУБАНТАРКТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

В последнее десятилетие одним из развивающихся направлений палеоокеанологии является исследование истории глубоководной циркуляции. Цель исследования состоит в выявлении характера связи палеоциркуляции с различными природными процессами, что важно не только для понимания эволюции Земли в прошлом, но и для прогнозирования ее будущего. Наибольший интерес вызывает глейстоценовая история океана. Результаты геохимических и палеонтологических исследований, проведенных пока на немногочисленных колонках преимущественно из отложений последнего крупного климатического цикла, охватывающего 140 тыс. лет, свидетельствуют, что в прошлом, как и в настоящее время, глубоководная циркуляция была тесно связана с климатом (Duplessy, Shackleton, 1985). Установлено, что глобальные климатические флуктуации вызывали преобразования в вертикальной структуре водных масс. Характер этих преобразований в разных бассейнах и на разных глубинах, очевидно, был разным, и для построения модели эволюции глобальной циркуляции океана для какого-либо климатического периода, даже последних 140 тыс. лет, данных пока слишком мало. Еще менее изучена более ранняя история циркуляции океана.

Авторами настоящей работы на основе изучения фораминифер в колонке донных отложений сделана попытка проследить эволюцию некоторых характеристик поверхностных и придонных вод в южной части Тихого океана за время около 800 тыс. л.н. Колонка получена в 14-м рейсе НИС "Дмитрий Менделеев" у подножия Восточно-Тихоокеанского поднятия на ст. 984 на глубине 4830 м (координаты 135°57'3 з.д., 48°30'9 ю.ш.). Общая мощность вскрытых отложений составила 510 см, время образования охватывает поздний плиоцен и плейстоцен.

По отношению к современной гидрологической структуре станция расположена на 5—7° севернее южного полярного фронта (ЮПФ), на северной периферии Антарктического циркумполярного течения. Полярный фронт является важной гидрологической и биогеографической границей. К северу от фронта распространены теплые высокосолёные и бедные биогенными элементами поверхностные воды, а к югу — холодные низкосолёные и продуктивные воды (Бурков, 1980). Вследствие этого ЮПФ является и фациальной границей осадков. К северу от фронта на дне распространены карбонатные илы, формирующиеся за счет поступления из поверхностных вод раковин планктонных фораминифер и кокколитов, а южнее ЮПФ накапливаются кремнистые илы, состоящие преимущественно из створок диатомей и панцирей радиолярий, обильно развивающихся в водах (Лисицын, 1970). Циркумполярное течение охватывает всю толщу вод

вокруг Антарктиды, проникая до дна. В ряде районов от течения отделяются ветви, переносящие глубинные и придонные воды на север к экватору. Одна из этих ветвей циркулирует над Восточно-Тихоокеанским поднятием (Бурков, 1980). Измерения скорости течения придонных вод пока единичны. Известно, что она может превышать 20 см/с.

*Литоология, стратиграфия и возраст отложений колонки ст. 984.* Вскрытый разрез отложений литологически неоднороден. Нижняя часть, 510—235 см, представлена коричневыми пятнистыми бескарбонатными диатомовыми илами, на уровне 485 см обогащенными Co, Ni, Cu с включениями железомарганцевых конкреций. Верхняя часть колонки, 0—235 см, сложена светлыми слабокарбонатными и карбонатными песчано-алевритовыми илами. В их составе преобладают раковины фораминифер и их фрагменты (до 50%), кокколиты (30—40%); доля диатомей не превышает 20%. В интервале 150—235 см присутствуют два горизонта с повышенным содержанием Co, Ni, Cu и конкреций. Наблюдается постепенный переход от бескарбонатных илов к карбонатным.

Возраст и расчленение бескарбонатных отложений основаны на изучении диатомей, кокколитов и палеомагнитных данных (Мухина, 1978; Дмитренко и др., 1979). Предполагается, что возраст основания разреза (480—510 см) несколько древнее 2,4 млн лет. Граница плиоцена и плейстоцена, соответствующая событию Олдувей, определена на уровне 410 см. В плейстоценовой части разреза датированы следующие уровни. Возрасту 0,73 млн лет отвечает уровень 190 см, где фиксируется граница палеомагнитных эпох Брюнес и Матуяма. Этот рубеж маркируется также исчезновением *Rhizosolenia curvirostris* Jouse в диатомовой флоре. Возраст уровня 122 см по скорости осадконакопления, рассчитанной для верхней части разреза по распаду йония, определен В.М. Купцовым в 380 тыс. лет. По нашим данным, этот слой несколько моложе. По распределению планктонных фораминифер возрасту 300 тыс. лет отвечает уровень 115 см, где происходит замещение *Globorotalia crassaformis* (Galloway and Wissler) видом *G. truncatulinoides* (d'Orbigny). Приуроченность этого события в субантарктической области ко времени 300 тыс. лет была выявлена ранее Д. Кеннетом (Kennett, 1970).

*Ассоциация фораминифер и палеогидрология в районе ст. 984 в позднем плейстоцене.* Фораминиферы обнаружены только в карбонатных отложениях разреза, в диапазоне 0—293 см. Состав фораминифер был изучен в 61 пробе осадков этой части разреза, отобранных с интервалом в 2—5 см. Во фракциях осадка более 0,25 мм и 0,25—0,1 мм определялось количественное соотношение: а) раковин планктонных и бентосных видов в суммарном комплексе фораминифер; б) целых раковин и их фрагментов в планктонных ассоциациях; в) право- и левозавернутых форм *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg); г) отдельных видов в планктонных и бентосных ассоциациях. Анализ этих характеристик послужил основой для реконструкции гидрологической обстановки в районе станции в позднем плейстоцене.

В интервале 293—221 см в кремнисто-карбонатных осадках комплексы фораминифер таксономически бедны и малочисленны (рис. 1). В составе планктонных ассоциаций встречены *Globigerina bulloides* (d'Orbigny), *Globorotalia inflata* (d'Orbigny), *G. crassaformis*, *Neogloboquadrina pachyderma*. Среди бентосных фораминифер больше половины составляет вид *Nuttallides umbonifera* (Cushman). Присутствие большого числа фрагментов раковин и следы сильной коррозии на единичных целых экземплярах фораминифер свидетельствуют об агрессивной к карбонатам среде.

Выше 220 см в карбонатных песчано-алевритовых отложениях колонки фораминиферы обильны и их ассоциации более разнообразны. В интервале колонки 220—145 см планктонные ассоциации представлены теми же видами, что и в подстилающих отложениях, но они более многочисленны и имеют четко выраженную структуру, характерной чертой которой является доминирование

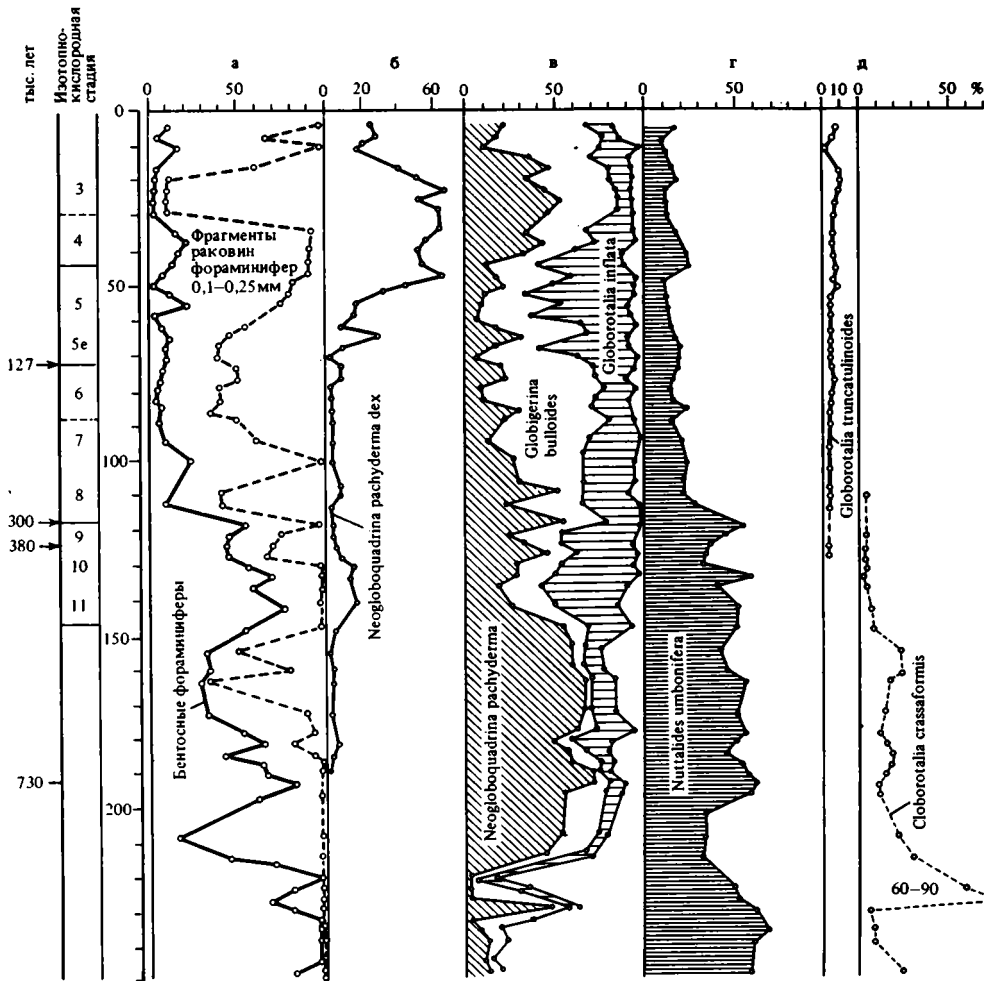


Рис. 1. Распределение фораминифер в колонке со ст. 984

а — количественное соотношение бентосных и планктонных фораминифер в ассоциации (более 0,1 мм) и содержание фрагментов раковин фораминифер; б — содержание правозавернутых форм вида *Neogloboquadrina pachyderma*; в — соотношение видов в планктонной ассоциации; г — содержание вида *Nutallides umbonifera* в бентосной ассоциации; д — распределение видов *Globorotalia crassaformis* и *G. truncatulinoides* в разрезе

*Neogloboquadrina pachyderma*. В большей части проб вид составляет 50—70%. Доля *Globigerina bulloides* и *Globorotalia inflata* колеблется между 1 и 22% каждого. *Neogloboquadrina pachyderma* — самый холодноводный вид планктонных фораминифер, абсолютное доминирование которого характерно для биоценоза полярных широт Арктики и Антарктики (Ve, 1977). Столь высокое содержание его в осадках колонки в интервале 220—145 см указывает на более холодноводные, чем современные, поверхностные воды с температурным режимом, близким к полярному (около 5°C).

Придонная обстановка была наиболее агрессивной к карбонатам во время накопления слоев осадков 175—200 см, что выразилось в значительной фрагментарности планктонных ассоциаций и в преобладании бентосных форм (70—80%) над планктонными вследствие большей устойчивости первых к

растворению. В бентосных ассоциациях доминирует *Nuttallides umbonifera*, что обычно для сообществ районов распространения придонных антарктических вод, самой глубоководной холодной, недонасыщенной карбонатными йонами водной массы Мирового океана. Однако столь высокое содержание *N. umbonifera* указывает на крайне агрессивную к карбонатам среду, критическую для обитания сопутствующих видов.

В период формирования отложений колонки 145—115 см гидрохимическая обстановка на дне была такой же, как и во время накопления слоя 175—200 см, судя по сохранности планктонных фораминифер и соотношению их с бентосными формами. Условия в поверхностных водах, напротив, резко изменились. В планктонных ассоциациях преобладающим видом становится *Globorotalia inflata* (40—50%), а доля *Neogloboquadrina pachyderma* сокращается до 20—30%. Эти преобразования свидетельствуют о значительном потеплении поверхностных вод и температурном режиме, близком к современному в районе станции, к условиям переходной зоны между субполярной и субтропической областью (5—10°C) (Echols, Kennett, 1973). *Globorotalia inflata* является значительно более тепловодной формой, чем *Neogloboquadrina pachyderma* и *Globigerina bulloides*. Этот вид в Тихом океане наиболее обилен в широтной зоне между 25 и 50° ю.ш., а в полярной области южнее 65° ю.ш. он не встречается. На потепление вод указывает и присутствие в интервале колонки 145—115 см тепловодных диатомовых водорослей (Мухина, 1978), а также увеличение содержания до 20% правозавернутых форм среди *Neogloboquadrina pachyderma*.

Возраст верхней границы этого интервала определен примерно в 300 тыс. лет. По изотопно-кислородной хронологии это возраст границы 8 и 9 стадий (Imbrie et al. 1984; Peterson, Prell, 1985). Исходя из средней скорости осадконакопления для периода 730—300 тыс. лет в 1,8 мм/тыс лет, время формирования слоя 145—115 см должно составлять примерно 160 тыс. лет. В таком случае эти отложения отвечают изотопно-кислородным стадиям 9—11 с преобладающими условиями межледниковий.

Отложения интервала колонки 115—5 см, сформировавшиеся в последние 300 тыс. лет, в целом накапливались в условиях менее активного растворения на дне, чем в предшествующее время. В составе фораминифер этих отложений повсеместно преобладают планктонные формы, доля фрагментов раковин сравнительно невелика. Бентосные ассоциации в них характеризуются большим видовым разнообразием. Доля *Nuttallides umbonifera* в них уменьшается до 10—22%, возрастает содержание нижнебатиальных форм. Однако, как видно из кривых, отражающих изменение в составе фораминиферовых ассоциаций в последние 300 тыс. лет, поверхностная и придонная гидрология не оставалась неизменной.

Состав и структура планктонных комплексов в интервале колонки 115—70 см отвечают условиям субантарктической области (Be, 1977). В большинстве проб преобладающим видом является *Globigerina bulloides* — 50—60% ассоциации, что характерно для современных сообществ субантарктической области, где температура поверхностных вод составляет 5—10°C. Наиболее холодноводные условия были, вероятно, во время отложения слоев 115—105 и 90—75 см. В них отмечено увеличение содержания *Neogloboquadrina pachyderma* и сокращение доли *Globorotalia inflata*. Соответственно изменениям в поверхностных водах менялась и придонная гидрология. Растворение было сравнительно слабым в холодные периоды и возрастало в теплые периоды.

Состав фораминифер в интервале разреза 70—40 см свидетельствует о значительном потеплении поверхностных вод в районе станции в период их накопления. Доминирующим видом в планктонных ассоциациях становится *Globorotalia inflata*. Доля его преимущественно составляет 35—65%, содержание *Neogloboquadrina pachyderma* колеблется от 7 до 20%, *Globigerina bulloides* — 20—47%.

Такой состав планктонной ассоциации отвечает температурному режиму вод переходной зоны между субтропической и субантарктической областью (10—18°C). В этих отложениях отмечено увеличение содержания правозавертнутых форм *Neogloboquadrina pachyderma*, а в слое 70—55 см — появление тепловодных диатомовых водорослей (Мухина, 1978). Исходя из установленных датировок и палеоэкологического анализа фораминифер, этот период значительного и длительного потепления сопоставляется с 5-й межледниковой стадией изотопно-кислородной шкалы и отвечает возрастному диапазону 127—80 тыс. лет. Следовательно, отложения интервала колонки 115—70 см сформировались за время от 300 до 127 тыс. л.н. и отвечают стадиям 8, 7, 6. За время накопления отложений интервала 70—40 см; которое сопоставляется с межледниковьем 5-й стадии, карбонатное растворение на дне постепенно усиливалось, что выражено в увеличении вверх по разрезу содержания фрагментов раковин планктонных видов и доли бентосных форм в суммарном комплексе фораминифер. Периоды наиболее активного растворения отмечены повышением роли *Nuttallides umbonifera* в бентосных ассоциациях.

Преобразования в структуре планктонных фораминифер, наблюдаемые на уровне колонки 40 см, указывают на резкое похолодание поверхностных вод. Доля тепловодного *Globorotalia inflata* в составе ассоциаций, распространенных в интервале 40—12 см, не превышает 20%, сокращаясь вверх по разрезу до 5—10%. Преобладающими формами становятся *Neogloboquadrina pachyderma* и *Globigerina bulloides*. Их суммарное содержание достигает 68—85% комплекса, причем особенно заметно в сравнении с ассоциацией нижележащих осадков возрастает составляющая первого вида. Отмеченные изменения в структуре планктонных ассоциаций могли быть следствием значительного смещения к северу полярного фронта с наступлением похолодания, отвечающего ледниковью изотопно-кислородной стадии 4, которое продолжалось и в стадии 3. В эти периоды станция располагалась в субантарктической зоне. Высокое содержание *Neogloboquadrina pachyderma* позволяет предполагать близость фронта и температуру вод около 5°C. Отступление полярного фронта к югу произошло, вероятно, только ко времени отложения самой верхней части осадков колонки — слоя 5—12 см, где отмечено уменьшение содержания *N. pachyderma*. Придонная гидрология за время накопления осадков интервала 40—5 см изменялась дважды. Вначале (стадия 4) растворение карбонатов происходило столь же активно, как и в конце стадии 5. В период отложения слоя 20—30 см интенсивность его уменьшилась, но затем растворение снова активизировалось, что хорошо видно на кривых содержания бентосных форм и фрагментов раковин планктонных видов.

Таким образом, изучение фораминифер в колонке отложений, вскрытых на ст. 984, позволило проследить эволюцию некоторых характеристик поверхностных и придонных вод в южной части Тихого океана в позднем плейстоцене. На основе изменений в составе планктонных фораминифер выявлены слои осадков, отвечающие определенным климатическим событиям, которые сопоставляются с ледниково-межледниковыми стадиями изотопно-кислородной шкалы. Состав бентосных фораминифер показал, что дно в районе станции в течение позднего плейстоцена постоянно находилось в зоне влияния придонных антарктических вод. Их физико-химические характеристики менялись. В период 730—300 тыс. л.н. придонные воды были более агрессивны к карбонатному материалу, чем в последующее время. Существенное улучшение сохранности фораминифер на рубеже 300 тыс. л.н. ранее отмечалось и в других разрезах глубоководных отложений субантарктической области Тихого океана (Чеховская, 1982), а также южной части Индийского океана (Peterson, Prell, 1985). Несомненно, ослабление растворяющей активности придонных антарктических вод в этот период плейстоцена было следствием события, имевшего глобальный характер, природу

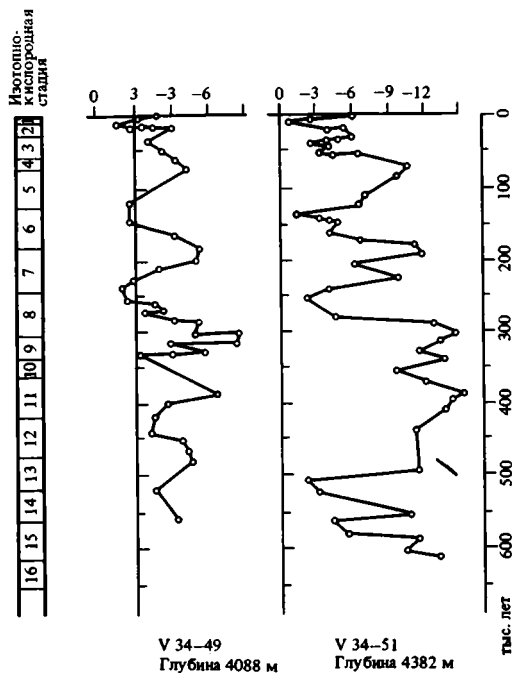


Рис. 2. Изменения значений вычисленного индекса карбонатного растворения для колонок  
 Уменьшение значений указывает на ухудшение сохранности раковин планктонных фораминифер в осадках (Peterson, Prell, 1985)

которого пока трудно объяснить. Возможно, это произошло в результате значительного потепления климата. Связь придонной гидрологии с эволюцией климата в позднем плейстоцене четко проявилась в изученном разрезе в изменениях сохранности планктонных фораминифер в отложениях, отвечающих климатическим стадиям изотопно-кислородной шкалы 6—3 (приблизительно от 140 до 50—60 тыс. л.н.).

Придонные воды были слабо агрессивны к карбонатам в период перехода от "холодной" стадии 6 к теплой стадии 5 и во время полного межледниковья — 5е. В стадию 5 их растворяющее влияние постепенно возрастало, достигнув максимума в конце стадии 5 и в ледниковые стадии 4. Интенсивность растворения ослабла при переходе к стадии 3, но затем вновь быстро возросла. Подобная тенденция в изменении сохранности раковин фораминифер в период, охватывающий изотопно-кислородные стадии 6—3, Л.К. Петерсоном и В.Л. Преллем (Peterson, Prell, 1985) была обнаружена и в колонках отложений Индийского океана (рис. 2). Как известно, карбонатное растворение возрастает при увеличении содержания растворенной углекислоты в водах, при понижении их температуры, активизации динамики потока, увеличении давления (глубины). Результаты проведенного в последние годы детального изучения изотопного состава кислорода и углерода планктонных и бентосных фораминифер из колонок отложений последних 140 тыс. лет различных районов Мирового океана указывают на то, что во время глобальных похолоданий температура глубинных вод была ниже современной более чем на 2°С (Labeuric et al., 1987). Первое резкое падение температуры произошло между 115 и 110 тыс. л.н. В течение всего ледниковья, охватывавшего переходный период между 5-й и 4-й стадиями и стадии 3 и 2, температура глубинных вод циркумполярного течения была ниже 0°С, а в экваториальной части Тихого океана — около 0°С. Эти воды заполняли,

вероятно, все котловины Мирового океана глубже 3000 м. Понижение температуры абиссальных вод, способствовавшие большей растворимости  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ , явилось, по-видимому, тем фактором, который вызвал активизацию растворения карбонатов на дне в исследованном районе во второй половине межледниковой стадии 5.

## АБСТРАКТ

Marked changes of sea-surface temperature and the carbonate dissolution intensity of the bottom water during the past 800 kyr BP are revealed by a detailed study of planktonic and benthic foraminifera from sediment core in Southern Pacific ocean taken at 4830 m depth. The strong dissolution occurred between 800 and 300 kyr BP. During the latest 300 kyr dissolution decreased and its intensity change had been associated with climatic fluctuations. The dissolution increase at the middle of interglacial oxygen isotopic stage 5 may have been linked with decrease of temperature and increase of solubility of  $\text{CO}_2$  and  $\text{O}_2$  of bottom water due to inception the last glaciation.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бурков В.А. Общая циркуляция Мирового океана. Л.: Гидрометеонздат, 1980. 253 с.
- Дмитренко О.Б., Купцов В.М., Линькова Т.И. и др. Сопряженный анализ определения скоростей осадкообразования по данным нониевого, палеомагнитного и биостратиграфического методов // Металлоносные осадки юго-восточной части Тихого океана. М.: Наука, 1979. С. 96—105.
- Лисицын А.П. Аморфный кремнезем в донных осадках // Тихий океан. Осадкообразование в Тихом океане. М.: Наука, 1970. С. 13—15.
- Мухина В.В. Биостратиграфические исследования в субантарктической области Тихого океана // Морская микропалеонтология М.: Наука, 1978. С. 19—29.
- Чеховская М.П. Условия формирования ассоциаций планктонных фораминифер плейстоценовых отложений северного склона котловины Беллинсгаузена // Там же. 1982. С. 44—56.
- Ve A.W.H. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic Foraminifera // Oceanic micropaleontology. 1977. Vol. 1. P. 1—100.
- Duplessy J.-C., Shackleton N.J. Response of global deep — water circulation of Earth's climatic change 135 000 — 107 000 years ago // Nature. 1985. Vol. 316, N 6028. P. 500—507.
- Echols R., Kennett J.P. Distribution of Foraminifera in the surface sediments // Marine sediments of the Southern oceans, (Antarct. Map Folio Ser.; N 17): Amer. Geog. Soc., 1973. P. 13—17.
- Imbrie J., Hays J.D., Martinson D.C., McIntyre A., Mix A.C., Shackleton N.J. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine  $\delta^{18}\text{O}$  record // Milankovitch and climate: Understanding the response to astronomical forcing. 1984. Pt 1. P. 296—306.
- Kennett J.P. Pleistocene paleoclimates and foraminiferal biostratigraphy in subantarctic deep — sea cores // Deep-Sea Res. 1970. Vol. 17. P. 125—140.
- Labeysie L.D., Duplessy J.-C., Blanc P.L. Variation in mode of formation and temperature of oceanic deep water over the past 125 000 years // Nature. 1987. Vol. 327, N 6122. P. 1—6.
- Peterson L.C., Prell W.L. Carbonate preservation and rates of climatic change: an 800 kyr record from the Indian ocean // The carbon cycle and atmospheric  $\text{CO}_2$ : Natural variating Archean to present. 1985. P. 251—269. (Geophys. Monorg.; Vol. 32).