

УДК 551.461.8+563.12

Л.А. Кулешова<sup>1</sup>, Е.А. Овсепян<sup>2</sup>

## ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА В СРЕДНЕМ-ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР

Изучены сообщества бентосных фораминифер в колонке донных осадков АИ-3321 (30°56.85' ю. ш., 38°02.45' з. д., глубина 2969 м, длина 294 см), отобранный с западного склона возвышенности Риу-Гранди в юго-западной части Атлантического океана. По результатам кластерного анализа в колонке выделено шесть интервалов, отражающих изменения численности и процентного содержания индикаторных видов. Интервалы I и VI определяются, главным образом, доминированием вида *Globocassidulina subglobosa*, который указывает на улучшение аэрации и усиление гидродинамической активности омывающих дно глубинных вод. Пики процентного содержания вида *Epistominella exigua* в интервалах V и III свидетельствуют об установлении стрессовых условий для фауны бентосных фораминифер с неравномерным поступлением органического вещества на дно. Интервалы II и IV характеризуются небольшим увеличением биологической продуктивности поверхностных вод, судя по высокому содержанию вида *Alabaminella weddellensis* в осадках. Сопоставление выделенных комплексов с данными по содержанию карбоната кальция в осадках колонки позволило выявить корреляцию с ледниково-межледниковоыми циклами верхнего-среднего плейстоцена в пределах последних девяти изотопно-кислородных стадий (ИКС) 9–1.

**Ключевые слова:** бентосные фораминиферы, поднятие Риу-Гранди, Южная Атлантика, микропалеонтология

**Введение.** Бентосные фораминиферы (БФ) являются важной составляющей морских осадков, они встречаются практически на всех глубинах океана и демонстрируют широкую экологическую адаптивность. Данные микроорганизмы могут обитать как в обедненных кислородом средах, так и в областях с высоким содержанием кислорода, в олиготрофных и эвтрофных условиях, в относительно холодных и теплых водах, а также в спокойной и активной гидродинамической обстановке [Jorissen et al., 2007]. Ввиду их обилия, значительного видового разнообразия и способности хорошо сохраняться в осадках океана, а также наличия имеющихся и постоянно расширяющихся знаний об их экологических предпочтениях, БФ широко используются при палеоокеанологических реконструкциях [Gooday, 2003; Murray, 2006].

Выбранный для настоящего исследования район поднятия Риу-Гранди в юго-западной части Атлантического океана является важным для реконструкции истории циркуляции придонных и глубинных вод Атлантики. Возвышаясь на 4 км над ложем Аргентинской и Бразильской котловин, плато служит своего рода преградой для распространения основных водных масс [Баращ, 1988; Hernández-Molina et al., 2010; Morozov et al., 2010]: Антарктической донной (ААДВ), Североатлантической глубинной (САГВ), Нижней и Верхней циркумполярных (НЦПВ и ВЦПВ) и Антарктической промежуточной (АПВ). Западнее поднятия располагается канал Вима – главный путь проникновения в котлови-

ны Западной Атлантики глубинных и донных вод Антарктического происхождения, агрессивных к карбонатным компонентам осадка и поэтому оказывающих большое влияние на процессы осадкообразования [Ivanova et al., 2016]. Однако из-за низких скоростей осадконакопления и отдаленности поднятия от высокопродуктивных зон апвеллингов, которые быстрее реагируют на климатические и океанологические изменения, выполнение высокоразрешающих реконструкций палеоокеанологических событий для данного района затруднено [Pujol, Duprat, 1983].

Основные исследования донных отложений проводились здесь в 70–80-х годах прошлого столетия [Melguen and Thiede, 1974; Johnson et al., 1977; Thunell, 1982]. Авторами изучалось распределение фаций поверхностного слоя осадков в зависимости от глубоководных гидрографических условий. Отмечалась связь между определенными водными массами, омывающими различные участки дна юго-западной Атлантики, и составом современных комплексов БФ [Lohmann, 1978; Mead, 1985]. Такой подход использовался при изучении разрезов четвертичных отложений для оценки вертикальной миграции границ водных масс и вариаций интенсивности их образования во время оледенений и межледниковых [Lohmann, 1977; Peterson, Lohmann, 1982]. В частности, Л. Петерсон и Дж. Ломанн [Peterson, Lohmann, 1982] предположили, что усиление формирования и поступления ААДВ через канал Вима происходило около 700 тыс. лет назад. Согласно полученным данным по распределению в

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, студент магистратуры; e-mail: lubov\_kuleshova@mail.ru

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, ст. науч. с., канд. геол.-минерал. н.; e-mail: eovsepian@ocean.ru

осадках створок антарктических видов диатомей, являющихся индикаторами ААДВ, зарегистрировано четыре основных импульса в увеличении объемов придонной антарктической воды в плейстоцене (около 1,35–1,32 млн., 780–700 тыс., 430–370 тыс. и 270–40 тыс. лет назад) [Shor et al., 1983]. Другие авторы [Jones, Johnson, 1984], основываясь на видовом составе комплексов диатомовых водорослей, полагают, что активизация потока ААДВ произошла около 23 тыс. лет назад.

Анализ видового состава планктонных фораминифер (ПФ) и сохранности карбонатных раковин в колонках донных осадков, напротив, не выявил каких-либо значительных вариаций положения водных масс на глубинах 1400–4500 м в течение двух последних ледниково-межледниковых циклов для данного района [Tappa, Thunell, 1984]. При изучении изменения среднего размера минеральных частиц алевритовой фракции М. Ледбеттером [Ledbetter, 1984] сделан вывод об уменьшении скоростей придонных течений (в областях распространения современных НЦПВ и ААДВ) во время изотопно-кислородных стадий (ИКС) 6 и 2 при относительно стабильной динамике потока на глубинах 2800–3000 м (диапазон максимальных значений солености современной САГВ). Впоследствии в своей более поздней работе [Ledbetter, 1986] автор скорректировал полученный ранее результат относительно активности циркуляции САГВ: в ИКС 2 темпы поступления через канал Вима в Аргентинскую котловину глубинных вод североатлантического происхождения уменьшались до 2 см/с, что в 2 раза ниже показателя их современной скорости. Максимальные скорости придонных антарктических вод в районе исследования реконструируются для переходных интервалов ИКС 7/6, ИКС 5/4 и по современным осадкам; небольшое увеличение скорости потока САГВ отмечается на границе ИКС 7/6 и в начале ИКС 5 и 3 [Ledbetter, 1986]. Эпизоды усиления циркуляции САГВ в юго-западной Атлантике могут быть связаны, по мнению Д. Джонсона [Johnson, 1983], с 40-тысячелетними циклами, синхронными с колебаниями наклона земной оси к перпендикуляру к плоскости эклиптики и пиками летней инсоляции.

Исследование распределения ПФ в четвертичных разрезах четырех скважин бурового судна «Глмар Челленджер», пробуренных в районе поднятия Риу-Гранди и канала Вима, позволило выполнить биостратиграфическое расчленение глубоководных отложений, выделить интервалы с различной частотой проявления гидрологических флюктуаций [Pujol, Duprat, 1983], а также реконструировать палеотемпературы поверхностных вод [Barash et al., 1983; Бараш с соавт., 1984; Бараш, 1988]. На основе изотопно-кислородных кривых, процентного содержания  $\text{CaCO}_3$  в осадках, серий абсолютных радиоуглеродных датировок  $^{14}\text{C}$  и по видам-индексам кокколитофорид и ПФ Г. Джонс с соавт. [Jones et al., 1984] определили возраст осадков 25 колонок (до 150–200 тыс. лет), отобранных с юго-западного склона поднятия Риу-Гранди.

Кроме того, для последних 150 тыс. лет опубликованы данные по изотопно-кислородному ( $\delta^{18}\text{O}$ ) и изотопно-углеродному ( $\delta^{13}\text{C}$ ) составу раковин бентосного вида *Cibicidoides wuellerstorfi* в семи колонках этого же района – возвышенности Риу-Гранди и канала Вима [Curry, Lohman, 1982]. Ледниково-межледниковая изменчивость значений  $\delta^{13}\text{C}$  проявилась только в тех разрезах, станции отбора которых находились в зоне влияния САГВ (на глубинах 2,7–3,5 км): в пределах ледниковых интервалов величины варьировали от 0,3–0,2‰ и повышались до 0,9–0,4‰ во время межстадиалов. В ледниковых осадках резкий градиент  $\delta^{13}\text{C}$  установлен примерно на 1 км выше, чем в настоящее время, что авторы связывают с уменьшением продукции САГВ. В колонке, поднятой в южной части плато Сан-Паулу, к западу от канала Вима, высокоамплифидные изменения  $\delta^{13}\text{C}$  связываются, главным образом, со сменой водных масс североатлантического и антарктического происхождения в этом районе в течение ледниково-межледниковых циклов [Ovsepyan, Ivanova, 2019].

Распределение современных видов БФ в диапазоне глубин 2007–3454 м района поднятия Риу-Гранди проанализировано в работе М. Фаридуддина и П. Лубэра [Fariduddin, Loubere, 1997]. Ими была предпринята попытка уточнить экологические предпочтения доминирующих видов в зависимости от величины биологической продуктивности поверхностных вод океана. Изучение сообществ БФ по колонке донных осадков в масштабе трех последних климатических циклов проводится для данного района впервые.

Цель данного исследования – по комплексам бентосных фораминифер колонки АИ-3321 восстановить изменения палеоокеанологических условий в районе поднятия Риу-Гранди (юго-западная часть Атлантического океана) для трех последних климатических циклов.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования послужили образцы донных осадков колонки АИ-3321 ( $30^{\circ}56.85' \text{ ю. ш.}, 38^{\circ}02.45' \text{ з. д.}$ , глубина 2969 м, длина 294 см), которая была получена в 46-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» в 2014 г. [Иванова с соавт., 2016]. Отбор колонки осуществлялся ударной трубкой на западном склоне возвышенности Риу-Гранди (рис. 1).

В настоящее время место отбора колонки АИ-3321 омыается нижней частью САГВ [Морозов et al., 2010]. Данные воды перемещаются с севера на юг и характеризуются максимумами солености ( $S > 34.8 \text{ psu}$ ) и кислорода ( $\text{O}_2 > 5.25 \text{ мл/л}$ ) по сравнению с вышележащими ВЦПВ и нижележащими НЦПВ [Morozov et al., 2010]. Ниже по профилю в генеральном направлении на север движутся относительно слабосоленые, более плотные с пониженным содержанием кислорода НЦПВ [Reid et al., 1977; Morozov et al., 2010]. Граница раздела между этими двумя водными массами (САГВ и НЦПВ) находится на глубинах около 3300 м [Reid et al., 1977].

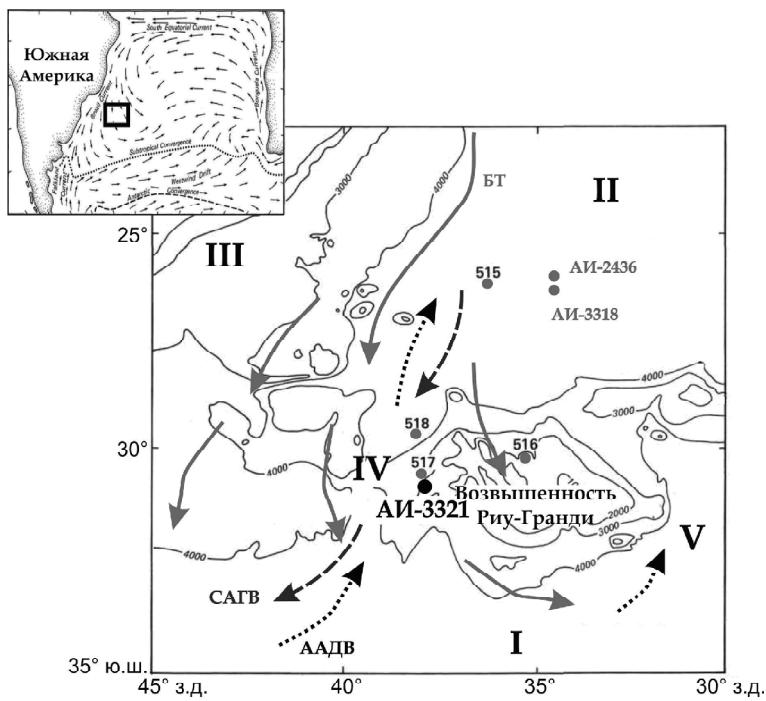


Рис. 1. Положение станции АИ-3321 на западном склоне возвышенности Риу-Гранди, циркуляция водных масс [по Pujol, Duprat, 1983; Hernández-Molina et al., 2010] и основные геоморфологические структуры. Обозначения: БТ – Бразильское течение, САГВ – Североатлантическая глубинная вода, ААДВ – Антарктическая донная вода; I – Аргентинская котловина, II – Бразильская котловина, III – эскарп плато Сан-Паулу, IV – канал Вима, V – канал Хантер

Fig. 1. Location of Core AI-3321 on the western slope of the Rio Grande Rise, water circulation [from Pujol, Duprat, 1983; Hernández-Molina et al., 2010] and principal geomorphologic structures. БТ – Brazil Current, САГВ – North Atlantic Deep Water, ААДВ – Antarctic Bottom Water; I – Argentine Basin, II – Brazil Basin, III – São Paulo Plateau scarp, IV – Vema Channel, V – Hunter Channel

БФ анализировались в 75 пробах в гранулометрической фракции  $>100$  мкм с интервалом опробования 3–4 см. Ввиду высокого обилия раковин БФ в каждом образце пробы делились микросплиттером Otto таким образом, чтобы полученная часть навески содержала достаточно экземпляров для расчета процентного содержания видов ( $>250$  шт.) в соответствии с общепринятой практикой [например, Holbourn et al., 2005]. В них определялся видовой состав комплексов БФ и процентное содержание индикаторных видов.

С целью выделения интервалов с определенными комплексами БФ (кластерами) по колонке АИ-3321 использован метод кластерирования. Обработка данных реализовывалась с помощью программы PAST: к матрице процентного содержания видов БФ, доля которых достигала в сообществе минимум 2% хотя бы в одной пробе, применен кластерный анализ Q-типа по алгоритму базового Евклида расстояния [Hammer et al., 2001].

Кулонометрическим методом на экспресс-анализаторе АН-7529М в лаборатории геологии Атлантики АО ИО РАН выполнен анализ относительного содержания карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в осадках колонки АИ-3321 с шагом 2–10 см. Вариации значений данного параметра отражают соотношение

активности терригенного и биогенного процессов осадконакопления. Во время межледниковых интервалов темпы поступления биогенного материала увеличиваются, соответственно, повышаются показатели содержания  $\text{CaCO}_3$  по сравнению с интервалами оледенений [Бараш, 1988]. При похолодании климата не только замедляются процессы осадкообразования, но и изменяется гипсометрическое положение глубины карбонатной компенсации (ГКК), на которой скорость растворения карбонатного материала равна скорости его поступления, и также смещается положение фораминиферового лизоклина, разделяющего комплексы микрофоссилий хорошей и плохой сохранности [Кеннет, 1987]. Последнее объясняется уменьшением объема поступления САГВ в Северную, а затем и в Южную Атлантику, вероятно, в результате образования на поверхности Гренландского и Норвежского морей постоянного ледового покрова, который препятствовал обмену теплом с атмосферой [Ledbetter, 1984; Rahmstorf, 2002]. В свою очередь, сокращение объемов формирования относительно теплых и соленых глубинных вод в океане приводило к ослаблению глобальной термохалинной циркуляции [Ledbetter, 1984] и формированию более застойных условий в глубинных слоях океана [Tappa, Thunell, 1984], за счет чего могло происходить растворение карбонатного материала.

Некоторыми авторами [Shor et al., 1983; Jones, Johnson, 1984; Бараш, 1988; и др.] отмечается, что снижение карбонатности четвертичных осадков в разрезах юго-западной Атлантики в ледниковых стадиях плейстоцена было вызвано, в том числе, интенсификацией объемов поступления через канал Вима в Бразильскую котловину придонных вод антарктического происхождения. Агрессивные к карбонату кальция данные воды оказывали большое влияние на процессы осадкообразования путем растворения раковин карбонатных микрофоссилий. При этом ГКК и уровень фораминиферового лизоклина находились выше относительно своего современного положения, которое в настоящее время для данного района оценивается в пределах 4250–4500 м и 3900–4050 м, соответственно [Melguen, Thiede, 1974; Johnson et al., 1977; Berger, 1978; Corliss, 1986; Müller, Fischer, 2004; Ovsepyan, Ivanova, 2019].

**Результаты.** Микропалеонтологический анализ 75 проб донных осадков колонки АИ-3321 позволил выделить более 100 видов БФ во фракции  $>100$  мкм. Всего было подсчитано и определено 23 633 раковины, из которых 23 вида оставлены в открытой номенклатуре. Среднее содержание БФ в изученных частях навесок составляет 315 раковин, минимальное значение – 251 раковина, максимальное – 711 ра-

ковин. Такое количество подсчитанных раковин БФ является достаточным для проведения статистической обработки и обоснованных выводов.

В рассмотренных пробах преобладают секреционно-известковые виды БФ. Агглютинирующие фораминиферы представлены всего 21 видом и крайне малочисленны. Кроме того, в пробах часто обнаружаются только фрагменты агглютинирующих раковин из-за быстрого растворения после гибели организма. Наибольший процент агглютинирующих видов БФ зафиксирован на поверхности осадка (0–1 см) и достигает 8%, в пределах горизонта 146–147 см отмечается их наименьшее содержание – 1% (рис. 2). Содержание группы агглютинирующих фораминифер в среднем по колонке составляет всего 4%.

Стратиграфическое расчленение колонки АИ-3321 выполнено на основе данных об относительном содержании карбоната кальция по всей длине колонки. Интервалы с пониженными значениями карбонатности сопоставлены с ледниково-межледниковой цикличностью четвертичного периода (в пределах последних 150–200 тыс. лет) проявляется хорошая корреляция между кривыми процентного содержания  $\text{CaCO}_3$  и изотопно-кислородными данными [Jones et al., 1984].

Таким образом, в изученной колонке выделяются три последних ледниково-межледниковых цикла (ИКС 8–1), и, вероятно, нижняя часть разреза охватывает конец ИКС 9 (рис. 3). Подобное интенсивное растворение карбонатного материала, близкое к границе ИКС 5/ИКС 4, зафиксировано во многих других работах, посвященных исследованию осадков в Северной и Южной Атлантике [Broecker, Clark, 2001]. Вместе с тем, в колонках донных осадков района поднятия Риу-Гранди на шкале ледниково-межледниковой цикличности четвертичного периода (в пределах последних 150–200 тыс. лет) проявляется хорошая корреляция между кривыми процентного содержания  $\text{CaCO}_3$  и изотопно-кислородными данными [Jones et al., 1984].

В результате кластерного анализа выделено 6 интервалов (кластеров), характеризующихся определенными комплексами БФ и отмеченных на дендрограмме (рис. 4), а также на кумулятивной кривой процентного содержания преобладающих видов (рис. 5).

В интервале I (293–223 см) доминируют следующие виды: *Epistominella exigua* (12–30%),

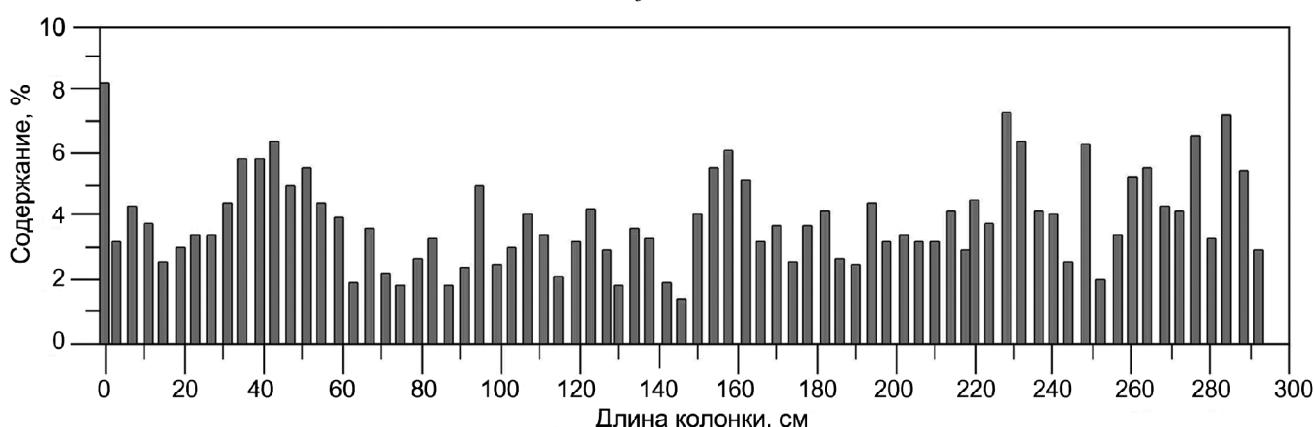


Рис. 2. Процентное содержание агглютинирующих бентосных фораминифер в колонке АИ-3321

Fig. 2. Percentages of agglutinated benthic foraminifera in Core AI-3321

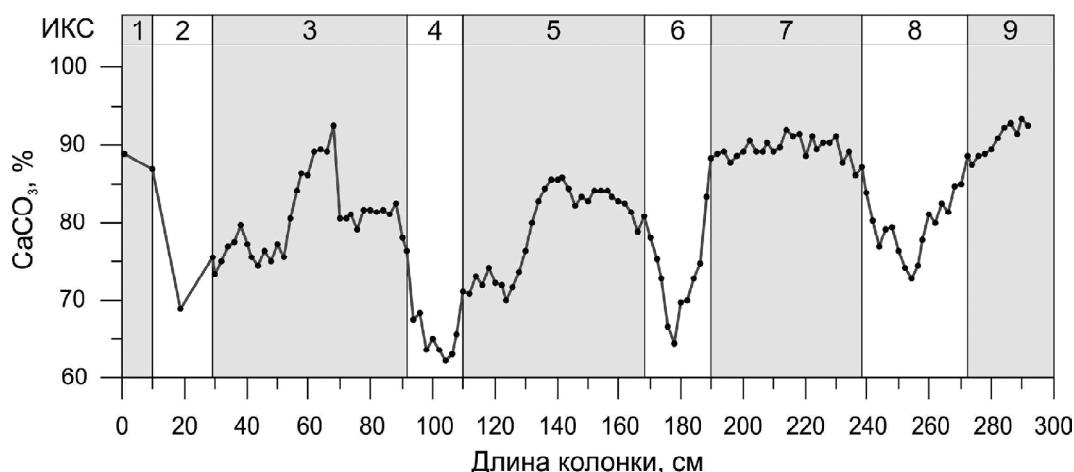


Рис. 3. Процентное содержание карбоната кальция в осадках колонки АИ-3321. ИКС – изотопно-кислородные стадии

Fig. 3. Calcium carbonate percentages in sediments of Core AI-3321. ИКС – oxygen isotope stages

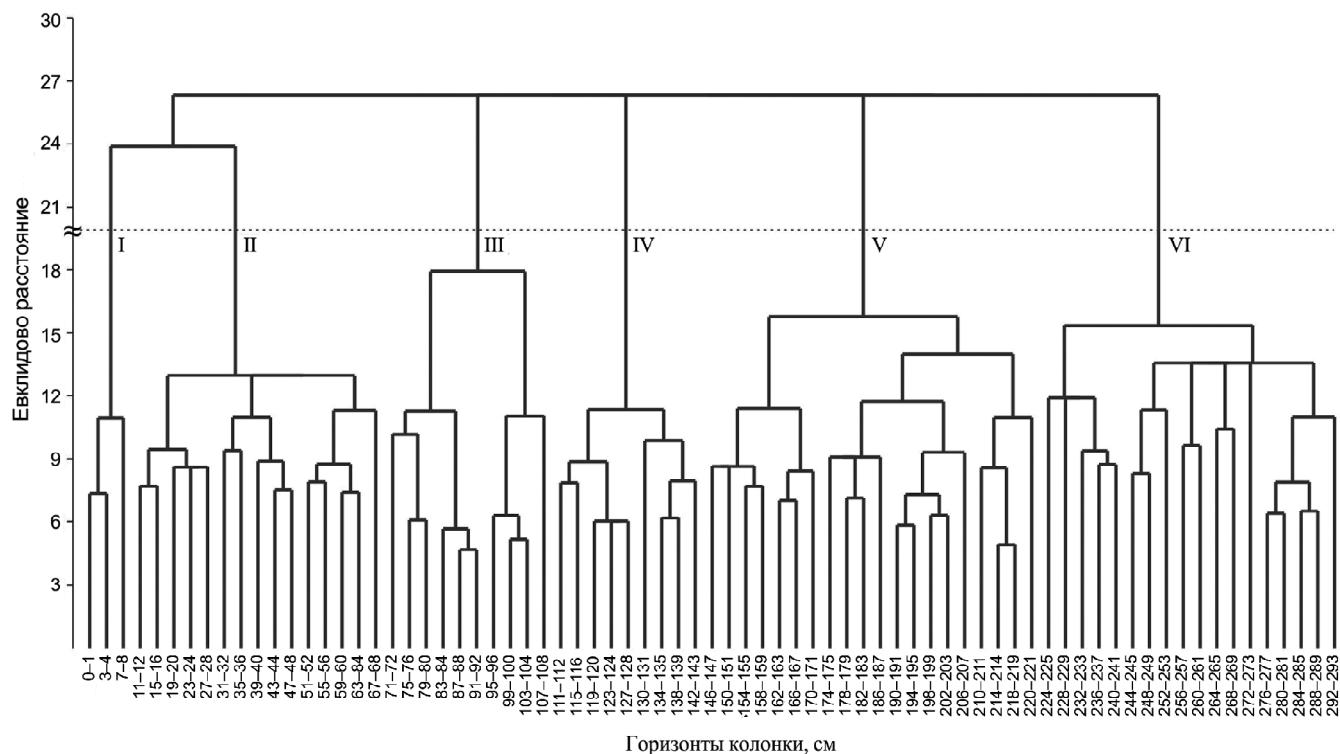


Рис. 4. Дендрограмма, построенная с помощью кластерного анализа. Римскими цифрами обозначены шесть интервалов в колонке АИ-3321

Fig. 4. Dendrogram constructed by using cluster analysis. Roman numerals indicate six intervals in Core AI-3321

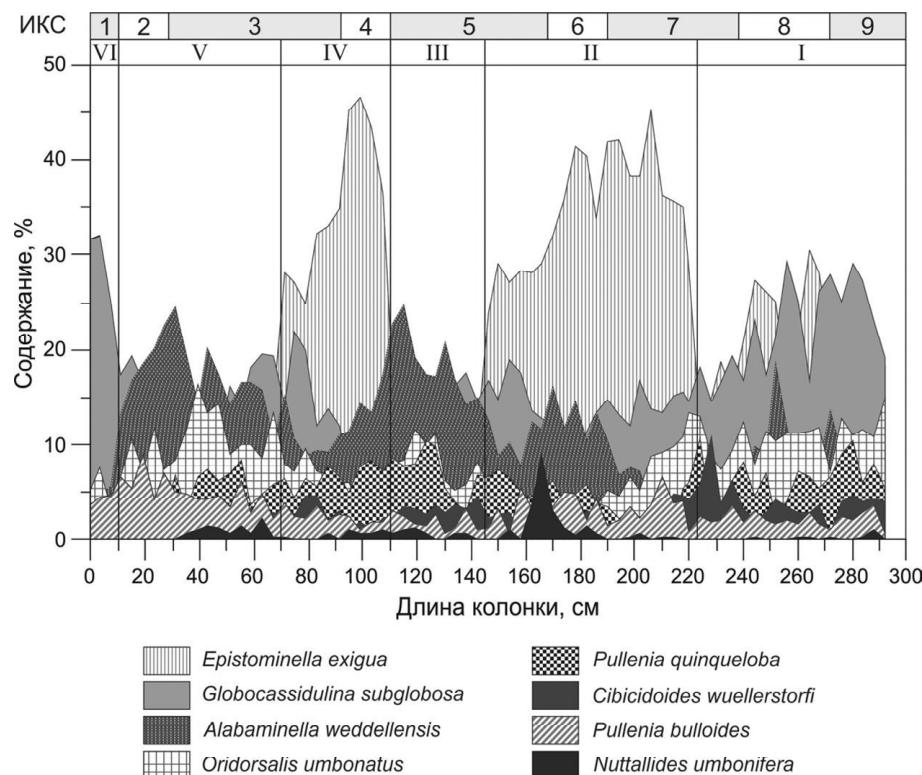


Рис. 5. Изменения процентного содержания преобладающих видов и смена комплексов бентосных фораминифер в колонке АИ-3321. ИКС – изотопно-кислородные стадии

Fig. 5. Changes in percentages of the dominant species and the succession of benthic foraminiferal assemblages in Core AI-3321. ИКС – oxygen isotope stages

*Globocassidulina subglobosa* (15–29%), *Alabaminella weddellensis* (3–19%), *Oridorsalis umbonatus* (7–15%). Кроме того, в большом количестве встречаются раковины видов *Pullenia quinqueloba* (2–11%), *C. wuellerstorfi* (1–11%). Доля видов  *Eggerella bradyi*, *Osangularielloides rugosa* и *Pullenia salisburyi* не превышает 7%. Отмечено низкое содержание видов рода *Gyroidinoides* (*Gyroidinoides lamarckiana*+*Gyroidinoides orbicularis*+*Gyroidinoides polius*+*Gyroidinoides soldanii*), а также *Abditodentrix pseudothalmani*, *Bulimina elongata*, *Cibicidoides mundula*, *Fursenkoina complanata*, *Fursenkoina mexicana*, *Ioanella tumidula*, *Lobatula lobatula*, *Pullenia bulloides*, *Pyrgo murrhina*, *Siphonularia catenata*, каждый из которых составляет менее 4% комплекса. Верхняя граница интервала соответствует резкому увеличению численности *E. exigua* в сообществах фораминифер.

Интервал II (223–145 см) характеризуется четырьмя унаследованными из предыдущего комплекса доминирующими видами: *E. exigua*, *G. subglobosa*, *A. weddellensis*, *O. umbonatus*. Однако количественные характеристики этих видов существенно различаются: значительно возрастает доля *E. exigua* в сообществе, достигая 24–45%, содержание остальных видов снижается до 8–19%, 3–16% и 3–13%, соответственно. В данном интервале наблюдаются самые высокие значения процентного содержания видов *Nuttallides umbonifera* (9%), *F. mexicana* (8%), *Uvigerina peregrina* (6%). Несколько увеличивается обилие вида *P. bulloides* и в то же время уменьшается процентное содержание *C. wuellerstorfi*, *P. quinqueloba*. Верхняя граница интервала совпадает с резким падением численности вида *E. exigua*.

В интервале III (145–110 см) выделен следующий комплекс БФ, отличающийся большим видовым разнообразием, чем предыдущий. Доминирующее положение занимает вид *A. weddellensis*, количественное содержание которого достигает 24,6%. Доля *E. exigua* уменьшается с 45 до 17,5% по сравнению с интервалом II, а содержание видов *G. subglobosa*, *O. umbonatus* определяется примерно теми же значениями – 14–19 и 5–12%, соответственно. Возрастает доля видов *P. quinqueloba* (10%), *O. rugosa* (7%) в сообществе. Содержание фораминифер *C. wuellerstorfi*, *E. bradyi*, *N. umbonifera*, *P. bulloides*, *U. peregrina* не превышает 5%. Как и в интервале I, верхняя граница комплекса отражает резкое увеличение доли вида *E. exigua* в осадках.

Интервал IV (110–70 см) демонстрирует схожий тренд изменчивости комплекса с интервалом II. Здесь содержание доминантного вида *E. exigua* достигает максимального значения – 46,6%. В меньшем количестве распространены раковины видов *G. subglobosa* (5–22%), *A. weddellensis* (9–17,5%), *O. umbonatus* (4–10%), *P. quinqueloba* (4–8%). Доля остальных видов БФ в данном интервале снижается и составляет не более 5% от каждого. К 70-му сантиметру колонки резко падает численность

*E. exigua*, на этом же уровне проведена верхняя граница интервала, согласно результатам кластерного анализа.

Интервал V отражает распределение фораминифер в пределах 70–10 см. Он характеризуется большим таксономическим разнообразием. Впервые появляются виды *Hyperammina elongata*, *Pyrgoella irregularis*, *Robertinoides bradyi*, *Usbekistania charoides*. Увеличивается обилие родов *Cibicidoides*, *Gyroidinoides*, *Fissurina* и *Lagena*. Изменяется процентное содержание преобладающих во всем изученном разрезе видов: одновременно со снижением доли *E. exigua* (до 3–14%) в сообществе, повышается численность *A. weddellensis* (10,5–24,5%), *O. umbonatus* (7–16%). Содержание вида *G. subglobosa* уменьшается по направлению от нижней границы интервала, а затем, при приближении к верхней границе, начинает постепенно увеличиваться, достигая 19%.

Интервал VI охватывает верхние 10 см колонки. Для него характерны невысокие значения численности видов *A. weddellensis* (<6%), *O. umbonatus* (<7,6%), *E. exigua* ( $\leq$ 13%) и максимальное количество *G. subglobosa* (25–32%). Кроме того, в пределах данного интервала несколько увеличивается содержание видов рода *Quinquelocilina*, а также *Abditodentrix pseudothalmani*, *H. elongata*, *I. tumidula*, *P. irregularis*.

**Обсуждение.** В шести рассмотренных интервалах колонки АИ-3321 изменчивость комплексов БФ определяется тремя главными видами *A. weddellensis*, *E. exigua* и *G. subglobosa*. Остальные виды являются аксессорными.

Большое количество раковин вида *E. exigua* встречено в интервалах оледенений (ИКС 8, ИКС 6, ИКС 4), а также во второй половине ИКС 7, что соответствует комплексам I, II и IV. Данный вид относится к оппортунистическим видам, он способен обитать в стрессовых обстановках с ярко выраженной сезонностью в поступлении свежего органического вещества на дно [Schmiedl et al., 2003; Yasuda, 1997; Smart et al., 2010]. Абсолютное доминирование *E. exigua* зарегистрировано в интервале IV, в пределах ИКС 4. С наступлением ИКС 5 и ИКС 3 количество этого вида снижается, однако до середины обоих интервалов сохраняется его повышенное содержание в сообществе. Обилие *E. exigua* в осадках не только ледниковых интервалов, а также ИКС 7 и ИКС 5, отмечалось для района северо-западной части Тихого океана (возвышенность Шатского) [Ohkushi et al., 2000]. Высокая численность *E. exigua*, отражающая сезонные вспышки биопродуктивности поверхностных вод, по мнению авторов [Ohkushi et al., 2000], могла быть обусловлена прохождением фронтальных систем над районом исследования в результате смещения Субарктического фронта на юг с  $42\text{--}45^\circ$  до  $35\text{--}38^\circ$  с. ш. во время ледниковых стадий плейстоцена [Thompson et al., 1980]. Закономерно предположить, что и в районе поднятия Риу-Гранди преобладание вида *E. exigua* связано с происходившими перестройка-

ми океанской палеоциркуляции, в частности Субтропический фронт мог перемещаться несколько севернее относительно своего современного положения ( $40\text{--}45^\circ$  ю. ш. по [Niebler et al., 2003]). Последнее подтверждается ранее опубликованными данными по распределению планктонных фораминифер в верхнечетвертичных осадках Южной Атлантики: состав современных «субтропических» комплексов ПФ возвышенности Риу-Гранди в пределах максимума последнего оледенения был представлен более холдиноводными «переходными к субполярным» видами [CLIMAP Project Members, 1981].

Другой вид *A. weddellensis*, также являющийся оппортунистом, в наибольшей степени приурочен к интервалам III и V. Максимум его численности в конце ИКС 5 и с середины ИКС 3 до наступления максимума последнего оледенения может свидетельствовать об установлении более продуктивных условий в это время по сравнению с остальными интервалами [Fariduddin, Loubere, 1997; Yasuda, 1997]. Данное предположение подкрепляется и тем, что указанные периоды отличаются большим видовым разнообразием в сообществах, и, кроме того, увеличением содержания вида *P. quinqueloba*, обитающего преимущественно в областях с умеренным и высоким потоком органического вещества на дно [Singh, Gupta, 2004].

Вид *G. subglobosa* получил широкое распространение в первой половине интервала I (ИКС 9) и в интервале VI (голоцен). Об этом виде известно [Mackensen et al., 1995; Fariduddin, Loubere, 1997; Schmiedl et al., 1997], что он существует в условиях хорошей аэрации придонных вод и имеет высокую приспособляемость к олиготрофной среде. Максимум численности *G. subglobosa* указывает на произошедшее увеличение содержания кислорода вблизи дна с конца ИКС 2, вероятно, за счет активного формирования САГВ в Северо-Восточной Атлантике и последующей экспансии этой водной массы в Юго-Западную Атлантику. В пользу насыщенности кислородом придонных вод в голоцене свидетельствует обилие видов-представителей эпифауны в современных отложениях [Kaiho, 1994]. Это такие виды, как *C. wuellerstorfi*, *H. elongata*, *P. irregularis*, виды рода *Quinqueloculina*. По-видимому, в это же время происходила активизация придонных течений, что подтверждается данными гранулометрического анализа [Ledbetter, 1986]. Повышение содержания вида *G. subglobosa* в течение последнего межледниковых и в начале ИКС 3 также согласуется с небольшим увеличением скорости потока САГВ в это время [Ledbetter, 1986]. Доля *G. subglobosa* достаточно высока и в пределах интервала ИКС 9, что может отражать условия низкой продуктивности одновременно с интенсификацией придонных течений. Несколько повышенная биопродуктивность поверхностных вод в ИКС 5 и во второй половине ИКС 3, вероятно, способствовала развитию других видов, что приво-

дило к межвидовой конкуренции и сокращению представителей вида *G. subglobosa* в сообществе БФ.

Агглютинирующие виды БФ *H. elongata*, *Hyperammina laevigata*, *Labrospira* (=*Cribrostomoides*) *crassimargo*, встречающиеся в колонке АИ-3321 преимущественно в поверхностном горизонте (0–1 см), также причисляют к эпифауне [Murray, 2006]. Их исчезновение ниже 12 см, вероятно, связано с разрушением раковин в процессе раннего диагенеза осадков. Ниже по разрезу встречаются более устойчивые агглютинирующие формы *E. bradyi*, *S. catenata* и единичные раковины вида *Verneuilinella propinqua*.

#### Выводы:

– в результате анализа распределения бентосных фораминифер по разрезу колонки АИ-3321 выделено шесть комплексов (интервалов), изменчивость которых определяется тремя главными видами *A. weddellensis*, *E. exigua* и *G. subglobosa*. Проведено сопоставление выделенных комплексов с данными по содержанию карбоната кальция в осадках колонки, что позволило выявить корреляцию с ледниково-межледниковыми циклами верхнего–среднего плейстоцена в пределах изотопно-кислородных стадий (ИКС 1–9);

– сообщества бентосных фораминифер комплексов I и VI характеризуются доминированием вида *G. subglobosa*, что свидетельствует о повышении содержания кислорода в придонных водах и усилении их гидродинамической активности в течение ИКС 9 и в голоцене. Кроме того, для данных интервалов закономерно предположить условия относительно низкой биологической продуктивности поверхностных вод, судя по преобладающим видам группы эпифауны;

– ярко выраженная сезонность в поступлении свежего органического вещества и умеренное содержание кислорода у дна регистрируются в интервалах оледенений (ИКС 8, 6 и 4), а также во второй половине ИКС 7 по максимальным значениям вида оппортуниста *E. exigua* в комплексах I, II и IV;

– небольшое повышение биологической продуктивности поверхностных вод установлено в конце ИКС 5 и во второй половине последнего межстадиала (ИКС 3) по высокому содержанию вида *A. weddellensis* в осадках (комpleksы III и V);

– сравнивая климатостратиграфические интервалы между собой, можно заключить, что в пределах оледенений происходило усиление сезонного контраста в поступлении органического вещества на дно; в интервалах межледниковых и межстадиалов, в целом, наблюдалось увеличение среднегодовой биопродуктивности поверхностных вод. Однако, по-видимому, в ИКС 5 и 3 условия для развития фитопланктона были более благоприятными, чем в течение ИКС 9 и 1. Последнее, возможно, связано с более теплым климатом в ИКС 5 и 3, что влияло на биопродуктивность.

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-35-50080-мол\_нр, № 17-305-50008-мол\_нр). Пробоподготовка и определение относительного содержания карбоната кальция в осадках проведено за счет средств государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0012).

Авторы благодарят Е.В. Иванову за предоставление образцов для изучения фораминифер, а также за ценные советы и рекомендации, способствовавшие улучшению содержания данной работы. За помощь в определении некоторых видов бентосных фораминифер и уточнении их экологии авторы признательны G. Schmiedl, M. Kaminski, J. Wollenburg; Л.Д. Башировой и рецензенту – за внимательное отношение к тексту и критические замечания, учтенные при подготовке статьи к публикации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бараш М.С.* Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М.: Наука, 1988. 272 с.
- Бараш М.С., Блюм Н.С., Оськина Н.С.* Четвертичные палеотемпературы и некоторые черты осадконакопления в районе поднятия Риу-Гранди // Докл. АН СССР. 1986. Т. 291. № 4. С. 928–931.
- Дмитренко О.Б., Лукашина Н.П., Оськина Н.С.* Верхнечетвертичная биостратиграфия и условия образования донных осадков колонки ACB-17-1447 юго-западной Атлантики по микрофоссилиям // Океанология. 2012. Т. 52. № 2. С. 270–281.
- Иванова Е.В., Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г. и др.* Изучение контуритовых систем Южной Атлантики в 46-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» // Океанология. 2016. Т. 56. № 5. С. 827–829.
- Кенниет Дж.* Морская геология. В 2-х т. Т. 2. Пер. с англ. Ивановой Е.В., Мурдмаа И.А. М.: Мир, 1987. 384 с.
- Barash M.S., Oskina N.S., Blyum N.S.* Quaternary biostratigraphy and surface paleotemperatures based on planktonic foraminifers / Eds.: P.F. Barker, R.L. Carlson, D.A. Johnson // Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 1983. V. 72. P. 849–869.
- Berger W.H.* Sedimentation of deep-sea carbonate; maps and models of variations and fluctuations // The J. Foraminiferal Research. 1978. V. 8. № 4. P. 286–302.
- Broecker W., Clark E.* A dramatic Atlantic dissolution event at the onset of the last glaciation // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2001. V. 2. № 11. P. 2001GC000185.
- CLIMAP Project Members. Seasonal reconstructions of the Earth's surface at the last glacial maximum. Geological Society of America. Map and Chart Series MC-36. 1981. 18 p.
- Curry W.B., Lohmann G.P.* Carbon isotopic changes in benthic foraminifera from the western South Atlantic: Reconstruction of glacial abyssal circulation patterns // Quaternary Research. 1982. V. 18. № 2. P. 218–235.
- Fariduddin M., Loubere P.* The surface ocean productivity response of deeper water benthic foraminifera in the Atlantic Ocean // Marine Micropaleontology. 1997. V. 32. P. 289–310.
- Gooday A.J.* Benthic foraminifera (Protista) as tools in deep-water paleoceanography: Environmental influences on faunal characteristics // Advances in Marine Biology. 2003. V. 46. P. 1–90.
- Hammer U., Harper D.A., Ryan P.D.* PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. V. 4. № 1. P. 1–9.
- Hernández-Molina F.J., Paterlini M., Somoza L. et al.* Giant mounded drifts in the Argentine Continental Margin: Origins, and global implications for the history of thermohaline circulation // Marine and Petroleum Geology. 2010. V. 27. P. 1508–1530.
- Holbourn A., Kuhnt, W., Kawamura H. et al.* Orbitally paced paleoproductivity variations in the Timor Sea and Indonesian Through flow variability during the last 460 kyr // Paleoceanography. 2005. V. 20. PA3002.
- Ivanova E., Murdmaa I., Borisov D. et al.* Late Pliocene–Pleistocene stratigraphy and history of formation of the Ioffe calcareous contourite drift, Western South Atlantic // Marine Geology. 2016. V. 372. P. 17–30.
- Johnson D.A.* Paleocirculation of the southwestern Atlantic / Eds.: P.F. Barker, R.L. Carlson, D.A. Johnson // Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 1983. V. 72. P. 977–994.
- Johnson D.A., Ledbetter M., Burckle L.H.* Vema Channel paleo-oceanography: Pleistocene dissolution cycles and episodic bottom water flow // Marine Geology. 1977. V. 23. № 1–2. P. 1–33.
- Jones G.A., Johnson D.A.* Displaced Antarctic diatoms in Vema Channel sediments: Late Pleistocene/Holocene fluctuations in AABW flow // Marine Geology. 1984. V. 58. № 1–2. P. 165–186.
- Jones G.A., Johnson D.A., Curry W.B.* High-resolution stratigraphy in late Pleistocene/Holocene sediments of the Vema Channel // Marine geology. 1984. V. 58. № 1–2. P. 59–87.
- Jorissen F.J., Fontanier C., Thomas E.* Paleoceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblage characteristics // Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography. V. 1. Developments in Marine Geology. New York: Elsevier, 2007. P. 263–325.
- Kaiho K.* Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean // Geology. 1994. V. 22. P. 719–722.
- Ledbetter M.T.* A late Pleistocene time-series of bottom-current speed in the Vema Channel // Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology. 1986. V. 53. № 1. P. 97–105.
- Ledbetter M.T.* Bottom-current speed in the Vema Channel recorded by particle size of sediment fine-fraction // Marine Geology. 1984. V. 58. № 1–2. P. 137–149.
- Lohmann G.P.* Abyssal benthonic foraminifera as hydrographic Indicators in the western South Atlantic ocean // J. Foraminiferal Research. 1978. V. 8. № 1. P. 6–34.
- Lohmann G.P.* Increased and decreased production of Atlantic deep waters during ice ages: Benthonic foraminiferal evidence from Vema Channel // EOS (Transactions American Geophysical Union). 1977. V. 58. № 6. P. 416.
- Mackensen A., Schmiedl G., Harloff J., Giese M.* Deep-sea foraminifera in the South Atlantic Ocean: Ecology and assemblage generation // Micropaleontology. 1995. V. 41. P. 342–358.
- Mead G.A.* Recent benthic foraminifera in the Polar Front region of the southwest Atlantic // Micropaleontology. 1985. V. 31. № 3. P. 221–248.
- Melguen M., Thiede J.* Facies distribution and dissolution depths of surface sediment components from the Vema Channel and the Rio Grande Rise (southwest Atlantic Ocean) // Marine Geology. 1974. V. 17. № 5. P. 341–353.
- Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Y., Zenk W.* Abyssal channels in the Atlantic ocean: Water Structure and Flows // Springer. 2010. 266 p.
- Müller P.J., Fischer G.*  $C_{37}$ -alkenones as paleotemperature tool: fundamentals based on sediment traps and surface sediments from the South Atlantic Ocean // The South Atlantic in the Late Quaternary. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. P. 167–193.
- Murray J.W.* Ecology and applications of benthic foraminifera. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 438 p.

*Niebler H.-S., Arz H.W., Donner B. et al.* Sea surface temperatures in the equatorial and South Atlantic Ocean during the Last Glacial Maximum (23–19 ka) // *Paleoceanography*. 2003. V. 18. № 3. P. 1–12.

*Ohkushi K., Thomas E., Kawahata H.* Abyssal benthic foraminifera from the northwestern Pacific (Shatsky Rise) during the last 298 kyr // *Marine Micropaleontology*. 2000. V. 38. P. 119–147.

*Ovsepyan E.A., Ivanova E.V.* Glacial-interglacial interplay of southern- and northern-origin deep waters in the Sro Paulo Plateau–Vema Channel area of the western South Atlantic // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2019. V. 514. P. 349–360.

*Peterson L.C., Lohmann G.P.* Major Change in Atlantic Deep and Bottom Waters 700,000 yr Ago: Benthonic Foraminiferal Evidence from the South Atlantic 1 // *Quaternary Research*. 1982. V. 17. № 1. P. 26–38.

*Pujol C., Duprat J.* Quaternary planktonic foraminifera of the southwestern Atlantic (Rio Grande Rise) Deep Sea Drilling Project Leg 72 / Eds.: P.F. Barker, R.L. Carlson, D.A. Johnson et al. // *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. 1983. V. 72. P. 601–615.

*Rahmstorf S.* Ocean circulation and climate during the past 120 000 years // *Nature*. 2002. V. 419. № 6903. P. 207–214.

*Reid J.L., Nowlin W.D., Patzert W.C.* On the characteristics and circulation of the southwestern Atlantic Ocean // *J. Physical Oceanography*. 1977. V. 7. P. 62–91.

*Schmiedl G., Mackensen A.* Late Quaternary paleoproductivity and deep water circulation in the eastern South Atlantic Ocean: Evidence from benthic foraminifera // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1997. V. 130. P. 43–80.

*Schmiedl G., Mitschele A., Beck S. et al.* Benthic foraminiferal record of ecosystem variability in the eastern Mediterranean Sea during times of sapropel S5 and S6 deposition // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2003. V. 190. P. 139–164.

*Shor A.N., Jones G.A., Rasmussen K.A. et al.* Carbonate spikes and displaced components at Deep Sea Drilling Project Site 515: Pliocene/Pleistocene depositional processes in the Southern Brazil Basin // *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. 1983. V. 72. № DEC. P. 885–893.

*Singh R.K., Gupta A.K.* Late Oligocene–Miocene paleoceanographic evolution of the southeastern Indian Ocean: evidence from deep-sea benthic foraminifera (ODP Site 757) // *Marine Micropaleontology*. 2004. V. 51. P. 153–170.

*Smart C.W., Waelbroeck C., Michel E., Mazaad A.* Benthic foraminiferal abundance and stable isotope changes in the Indian Ocean sector of the Southern Ocean during the last 20 kyr: Paleoceanographic implications // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2010. V. 297. P. 537–548.

*Tappa E., Thunell R.* Late Pleistocene glacial/interglacial changes in planktonic foraminiferal biofacies and carbonate dissolution patterns in the Vema Channel // *Marine Geology*. 1984. V. 58. P. 101–122.

*Thompson P.R., Shackleton N.J.* North Pacific paleoceanography: late Quaternary coiling variations of planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* // *Nature*. 1980. V. 287. P. 829–833.

*Thunell R.C.* Carbonate dissolution and abyssal hydrography in the Atlantic Ocean // *Marine Geology*. 1982. V. 47. № 3–4. P. 165–180.

*Yasuda H.* Late Miocene–Holocene paleoceanography of the western Equatorial Atlantic: evidence from deep-sea benthic foraminifera // *Shackleton Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*. College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1997. V. 154. № 27. P. 395–431.

Поступила в редакцию 26.04.2018

После доработки 19.02.2019

Принята к публикации 21.02.2019

**L.A. Kuleshova<sup>1</sup>, E.A. Ovsepyan<sup>2</sup>**

**PALEOCEANOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS FOR THE SOUTHWESTERN ATLANTIC DURING THE MIDDLE-LATE PLEISTOCENE BASED ON BENTHIC FORAMINIFERAL ASSEMBLAGES**

Benthic foraminiferal assemblages were investigated in the sediment core AI-3321 (30°56.85' S, 38°02.45' W, 2969 m water depth, 293 cm length), retrieved from the western slope of the Rio Grande Rise in the western South Atlantic. Six intervals reflecting the changes in relative abundance of indicative species during the last three glacial-interglacial cycles are defined based on cluster analysis. Intervals VI and I are characterized by the dominance of *Globocassidulina subglobosa*, which indicates well-aerated conditions and enhanced hydrodynamic activity of the deep water bathing the seafloor. The high relative abundance of *Epistominella exigua* points to stressful conditions for benthic foraminiferal faunas with variable (pulsed) food supply to the bottom during Intervals V and III. Slight enhancement of sea surface bioproductivity is proposed for Intervals IV and II based on the high percentages of *Alabaminella weddellensis*.

*Key words:* benthic foraminifera, Rio Grande Rise, South Atlantic, micropalaeontology

**Acknowledgements.** The research was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects № 16-35-50080-mol-nr and 17-305-50008-mol-nr). Sample treatment and estimation of the sedimentary calcium carbonate were performed under the state assignment of FASO Russia (theme № 0149-2018-0012).

We thank E.V. Ivanova for sharing samples for foraminifer studies, also for her valuable comments and recommendations which improved the manuscript greatly. We are especially grateful to G. Schmiedl, M. Kaminski and J. Wollenburg for their help in identifying some species of benthic foraminifera and discussion of foraminifer ecological preferences. We also appreciate the careful examination of our text and critical remarks of L.D. Bashirova and the reviewer; these were taken into account at the final stage of the article preparation.

<sup>1</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Junior Research Fellow; I. Kant Baltic University, master student; e-mail: lubov\_kuleshova@mail.ru

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Research Scientist, Ph.D. in Geology; e-mail: eovsepyan@ocean.ru

## REFERENCES

- Barash M.S.* Chetvertichnaja paleooceanologija Atlanticheskogo okeana [Quaternary paleoceanography of the Atlantic Ocean]. Moscow: Nauka, 1988. 272 p. (In Russian)
- Barash M.S., Blyum N.S., Oskina N.S.* Chetvertichnye paleotemperatury i nekotorye cherty osadkonakoplenija v rajone podnjatija Riu-Grandi [Quaternary paleotemperatures and some features of sedimentation in the Rio Grande Rise region] // Doklady Akademii nauk, USSR. 1986. V. 291. № 4. P. 928–931. (In Russian)
- Dmitrenko O.B., Lukashina N.P., Os'kina N.S.* Upper quaternary biostratigraphy and formation environments of the southwestern Atlantic Core ACB-17-1447 inferred from micropaleontological data // Oceanology. 2012. V. 52. № 2. P. 249–260.
- Ivanova E.V., Murdmaa I.O., Borisov D.G. et al.* Investigation of contourite systems in the South Atlantic during cruise 46 of the R/V «Akademik Ioffe» // Oceanology. 2016. V. 56. № 5. P. 754–756.
- Barash M.S., Oskina N.S., Blyum N.S.* Quaternary biostratigraphy and surface paleotemperatures based on planktonic foraminifers / Eds.: P.F. Barker, R.L. Carlson, D.A. Johnson et al. // Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 1983. V. 72. P. 849–869.
- Berger W.H.* Sedimentation of deep-sea carbonate; maps and models of variations and fluctuations // The J. Foraminiferal Research. 1978. V. 8. № 4. P. 286–302.
- Broecker W., Clark E.* A dramatic Atlantic dissolution event at the onset of the last glaciation // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2001. V. 2. № 11. P. 2001GC000185.
- CLIMAP Project Members. Seasonal reconstructions of the Earth's surface at the last glacial maximum. Geological Society of America. Map and Chart Series MC-36. 1981. 18 p.
- Curry W.B., Lohmann G.P.* Carbon isotopic changes in benthic foraminifera from the western South Atlantic: Reconstruction of glacial abyssal circulation patterns // Quaternary Research. 1982. V. 18. № 2. P. 218–235.
- Fariduddin M., Loubere P.* The surface ocean productivity response of deeper water benthic foraminifera in the Atlantic Ocean // Marine Micropaleontology. 1997. V. 32. P. 289–310.
- Gooday A.J.* Benthic foraminifera (Protista) as tools in deep-water palaeoceanography: Environmental influences on faunal characteristics // Advances in Marine Biology. 2003. V. 46. P. 1–90.
- Hammer U., Harper D.A., Ryan P.D.* PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. V. 4. № 1. P. 1–9.
- Hernández-Molina F.J., Paterlini M., Somoza L. et al.* Giant mounded drifts in the Argentine Continental Margin: Origins, and global implications for the history of thermohaline circulation // Marine and Petroleum Geology. 2010. V. 27. P. 1508–1530.
- Holbourn A., Kuhnt W., Kawamura H. et al.* Orbitally paced paleoproductivity variations in the Timor Sea and Indonesian Through flow variability during the last 460 kyr // Paleoceanography. 2005. V. 20. PA3002.
- Ivanova E., Murdmaa I., Borisov D. et al.* Late Pliocene–Pleistocene stratigraphy and history of formation of the Ioffe calcareous contourite drift, Western South Atlantic // Marine Geology. 2016. V. 372. P. 17–30.
- Johnson D.A.* Paleocirculation of the southwestern Atlantic / Eds.: P.F. Barker, R.L. Carlson, D.A. Johnson // Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 1983. V. 72. P. 977–994.
- Johnson D.A., Ledbetter M., Burckle L.H.* Vema Channel paleoceanography: Pleistocene dissolution cycles and episodic bottom water flow // Marine Geology. 1977. V. 23. № 1–2. P. 1–33.
- Jones G.A., Johnson D.A.* Displaced Antarctic diatoms in Vema Channel sediments: Late Pleistocene/Holocene fluctuations in AABW flow // Marine Geology. 1984. V. 58. № 1–2. P. 165–186.
- Jones G.A., Johnson D.A., Curry W.B.* High-resolution stratigraphy in late Pleistocene/Holocene sediments of the Vema Channel // Marine geology. 1984. V. 58. № 1–2. P. 59–87.
- Jorissen F.J., Fontanier C., Thomas E.* Paleoceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblage characteristics // Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography. V. 1. Developments in Marine Geology. New York: Elsevier, 2007. P. 263–325.
- Kaiho K.* Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean // Geology. 1994. V. 22. P. 719–722.
- Kennett J.* Morskaya geologiya [Marine geology] V 2-h t. T. 2. Per. s angl. Ivanovoj, Murdmaa I.O. M.: Mir, 1987. 384 s. (In Russian)
- Ledbetter M.T.* Bottom-current speed in the Vema Channel recorded by particle size of sediment fine-fraction // Marine Geology. 1984. V. 58. № 1–2. P. 137–149.
- Ledbetter M.T.* A late Pleistocene time-series of bottom-current speed in the Vema Channel // Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology. 1986. V. 53. № 1. P. 97–105.
- Lohmann G.P.* Increased and decreased production of Atlantic deep waters during ice ages: Benthonic foraminiferal evidence from Vema Channel // EOS (Transactions American Geophysical Union). 1977. V. 58. № 6. P. 416.
- Lohmann G.P.* Abyssal benthonic foraminifera as hydrographic Indicators in the western South Atlantic ocean // J. Foraminiferal Research. 1978. V. 8. № 1. P. 6–34.
- Mackensen A., Schmiedl G., Harloff J., Giese M.* Deep-sea foraminifera in the South Atlantic Ocean: Ecology and assemblage generation // Micropaleontology. 1995. V. 41. P. 342–358.
- Mead G.A.* Recent benthic foraminifera in the Polar Front region of the southwest Atlantic // Micropaleontology. 1985. V. 31. № 3. P. 221–248.
- Melguen M., Thiede J.* Facies distribution and dissolution depths of surface sediment components from the Vema Channel and the Rio Grande Rise (southwest Atlantic Ocean) // Marine Geology. 1974. V. 17. № 5. P. 341–353.
- Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Y., Zenk W.* Abyssal channels in the Atlantic ocean: Water Structure and Flows // Springer. 2010. 266 p.
- Müller P.J., Fischer G.* C<sub>37</sub>-alkenones as paleotemperature tool: fundamentals based on sediment traps and surface sediments from the South Atlantic Ocean // The South Atlantic in the Late Quaternary. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. P. 167–193.
- Murray J.W.* Ecology and applications of benthic foraminifera. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 438 p.
- Niebler H.-S., Arz H.W., Donner B. et al.* Sea surface temperatures in the equatorial and South Atlantic Ocean during the Last Glacial Maximum (23–19 ka) // Paleoceanography. 2003. V. 18. № 3. P. 1–12.
- Okushi K., Thomas E., Kawahata H.* Abyssal benthic foraminifera from the northwestern Pacific (Shatsky Rise) during the last 298 kyr // Marine Micropaleontology. 2000. V. 38. P. 119–147.
- Ovsepyan E.A., Ivanova E.V.* Glacial-interglacial interplay of southern- and northern-origin deep waters in the Sro Paulo Plateau-Vema Channel area of the western South Atlantic // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2019. V. 514. P. 349–360.
- Peterson L.C., Lohmann G.P.* Major Change in Atlantic Deep and Bottom Waters 700,000 yr Ago: Benthonic Foraminiferal Evidence from the South Atlantic 1 // Quaternary Research. 1982. V. 17. № 1. P. 26–38.
- Pujol C., Duprat J.* Quaternary planktonic foraminifers of the southwestern Atlantic (Rio Grande Rise) Deep Sea Drilling Project Leg 72 / Eds.: P.F. Barker, R.L. Carlson, D.A. Johnson et al. // Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 1983. V. 72. P. 601–615.
- Rahmstorf S.* Ocean circulation and climate during the past 120,000 years // Nature. 2002. V. 419. № 6903. P. 207–214.
- Reid J.L., Nowlin W.D., Patzert W.C.* On the characteristics and circulation of the southwestern Atlantic Ocean // J. Physical Oceanography. 1977. V. 7. P. 62–91.
- Schmiedl G., Mackensen A.* Late Quaternary paleoproductivity and deep water circulation in the eastern South Atlantic Ocean: Evidence from benthic foraminifera // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1997. V. 130. P. 43–80.

*Schmiedl G., Mitschele A., Beck S. et al.* Benthic foraminiferal record of ecosystem variability in the eastern Mediterranean Sea during times of sapropel S5 and S6 deposition // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2003. V. 190. P. 139–164.

*Shor A.N., Jones G.A., Rasmussen K.A. et al.* Carbonate spikes and displaced components at Deep Sea Drilling Project Site 515: Pliocene/Pleistocene depositional processes in the Southern Brazil Basin // *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. 1983. V. 72. № DEC. P. 885–893.

*Singh R.K., Gupta A.K.* Late Oligocene–Miocene paleoceanographic evolution of the southeastern Indian Ocean: evidence from deep-sea benthic foraminifera (ODP Site 757) // *Marine Micropaleontology*. 2004. V. 51. P. 153–170.

*Smart C.W., Waelbroeck C., Michel E., Mazaad A.* Benthic foraminiferal abundance and stable isotope changes in the Indian Ocean sector of the Southern Ocean during the last 20 kyr: Paleoceanographic implications // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2010. V. 297. P. 537–548.

*Tappa E., Thunell R.* Late Pleistocene glacial/interglacial changes in planktonic foraminiferal biofacies and carbonate dissolution patterns in the Vema Channel // *Marine Geology*. 1984. V. 58. P. 101–122.

*Thompson P.R., Shackleton N.J.* North Pacific paleoceanography: late Quaternary coiling variations of planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* // *Nature*. 1980. V. 287. P. 829–833.

*Thunell R.C.* Carbonate dissolution and abyssal hydrography in the Atlantic Ocean // *Marine Geology*. 1982. V. 47. № 3–4. P. 165–180.

*Yasuda H.* Late Miocene–Holocene paleoceanography of the western Equatorial Atlantic: evidence from deep-sea benthic foraminifers / *Shackleton Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*. College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1997. V. 154. № 27. P. 395–431.

Received 26.04.2018

Revised 19.02.2019

Accepted 21.02.2019