

УДК 551.461.8:551.465

Л.А. Кулешова¹

ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ-ГОЛОЦЕНЕ

В результате комплексного анализа осадков колонки АМК-4515 (данные по распределению материала ледового разноса, карбоната кальция и растворению карбонатных раковин фораминифер) из центральной части Северной Атлантики (район разлома Чарли-Гиббс) выделено 3 климатических интервала усиления и ослабления поверхностной циркуляции в районе исследования, соответствующих трем морским изотопным стадиям (МИС) – 3–1. Также сделаны выводы о миграциях Северного полярного фронта (СПФ). В пределах первого климатического интервала (слой 78–64 см, предположительно МИС 3) происходило усиление адвекции североатлантических водных масс, в это время СПФ находился севернее района исследования, но в непосредственной близости от него. Второй климатический интервал (слой 64–6 см, МИС 2) характеризуется миграцией фронта к югу от исследуемого района, во время наиболее холодных интервалов (последний ледниковый максимум; 36–12 см), а также включает в себя два события Хайнриха, сопровождающихся ослаблением активности поверхностной циркуляции. Третий климатический интервал (слой 6–0 см, МИС 1) соответствует периоду потепления: СПФ располагался много севернее района разлома Чарли-Гиббс, усилилась Атлантическая меридиональная термохалинная циркуляция, условия стали схожими с современными.

Ключевые слова: палеоокеанологические реконструкции, четвертичная палеоокеанология, разлом Чарли-Гиббс, поверхностная палеоциркуляция, Северо-Атлантическое течение, Северный полярный фронт, события Хайнриха.

Введение. Не вызывает сомнения необходимость в надежных реконструкциях океанологических событий прошлого для понимания и оценки климатических изменений, происходящих в настоящем. Так, например, исследования климатических колебаний в исторической перспективе позволяют понять механизмы смены ледниковых циклов и прогнозировать их. Поэтому сегодня интерес к изменению климата в прошлом значительно вырос [Clark et al., 2002; Kukla et al., 2002; McManus et al., 2002; Rahmstorf, 2006; Irvani et al., 2012].

Отмечается [Clark et al., 2002], что даже за небольшие (в геологическом масштабе) промежутки времени могли происходить значительные изменения палеосреды, которые влекли за собой перестройку всей системы глобальной термохалинной палеоциркуляции. К таким кратковременным перестройкам можно отнести события Хайнриха, когда в короткие сроки происходила массовая разгрузка айсбергов, сопровождающаяся повышенным сбросом терригенного материала в Северной Атлантике и распространением пресной холодной воды на поверхности океана [Ruddiman, 1977; Johnsen et al., 1992; MacAyeal, 1993]. Распреснение поверхностных водных масс способствовало установлению галоклина, который препятствовал вертикальному водообмену и ослаблению циркуляции, миграции Северного полярного фронта (СПФ) на юг и, как следствие, похолоданию климата.

В отечественной и в зарубежной терминологии существует много определений СПФ [например,

Родионов с соавт., 1998; Dickson et al., 1988; Swift et al., 1981]. В данной работе под СПФ понимается зона, обусловленная взаимодействием двух элементов планетарной циркуляции: распространяющихся с юга на север относительно теплых и соленых вод Атлантики и проникающих из приполярных областей к югу более холодных и распресненных вод [Родионов с соавт., 1998].

События Хайнриха идентифицируются по увеличению терригенных зерен (ice-rafted debris – IRD) в пробах донных осадков. В Атлантическом океане существует так называемый пояс IRD [Ruddiman, 1977], он расположен между 45° с. ш. и 55° с. ш. Этот пояс представляет собой зону наибольшего скопления терригенных зерен, разносимых айсбергами, которые, в свою очередь, отламывались от Лаврентийского ледникового щита, а также от северо-западных европейских ледниковых щитов. Особенности палеоциркуляции во время этих событий до сих пор изучены недостаточно.

Колебания глубины термоклина в периоды оледенений и межледниковий контролируют положение фораминиферового лизоклина – уровня максимальных изменений характеристик комплексов планктонных фораминифер [Berger, 1968]. Иными словами, лизоклин разделяет комплексы хорошей и плохой сохранности микрофоссилий [Кеннет, 1987]. Иногда выделяют три фораминиферовых лизоклина [Лисцин, 1978]: первый (верхний) лизоклин – растворение 10% от исходного числа раковин, второй – растворение 50% раковин, третий – растворение 75–

¹ Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, лаборатория геологии Атлантики, инж.-исслед.; Балтийский федеральный университет имени И. Канта, аспирантка; e-mail: lubov_kuleshova@mail.ru

80% раковин. Современное положение верхнего литоклина в центральной части Северной Атлантики варьирует от 3,5 до 4 км и приходится на 1–1,5 км выше глубины компенсации карбонатов (КГл) – конечной стадии удаления карбонатов из осадков [Бараш, 1988; Кеннет, 1987; Thurman et al., 2004].

Цель настоящей работы – реконструкция поверхностной циркуляции в районе трансформного разлома Чарли-Гиббс в позднем плейстоцене-голоцене по данным подсчета материала ледового разноса и растворения карбонатных раковин фораминифер.

Материалы и методы. *Местоположение колонки и общая характеристика района исследования.* Материалом исследования послужили образцы донных осадков колонки АМК-4515 (52°03.14' с. ш., 29°00.12' з. д., глубина 3630 м, длина 370 см), отобранной в 48-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2002 г. [Отчет о работах 48 рейса АМК, 2002]. Исследуемый разрез колонки сформировался в восточной части зоны разлома Чарли-Гиббс, выраженной в виде депрессии рельефа дна на границе Исландской и Европейской котловин (рис. 1). Литологический состав пород, слагающих разрез колонки АМК-4515, представлен миоценовыми мергельными и глинистыми илами (рис. 2) [Баширова с соавт., 2015; Дмитренко с соавт., 2009].

Особенностью колонки АМК-4515 является ее расположение на пути основного потока Северо-Атлантического течения (САТ), а также близость к СПФ, граница которого, как правило, следует кром-

ке плавучих льдов [Swift et al., 1981], и поясу IRD (рис. 1). Такое положение района исследования позволило по полученным данным зарегистрировать миграции СПФ и САТ, которые и определяли формирование поверхностных условий здесь в прошлом.

Современная гидрологическая обстановка в районе отбора колонки АМК-4515 определяется двумя пограничными течениями: с востока на запад через разлом Чарли-Гиббс движется Северо-Восточная глубинная вода (СВГВ), перетекающая через пороги между Исландией и Шотландией, ее подстилает противотечение (с запада на восток) Северо-Западной глубинной воды (СЗГВ), зарождающейся в Датском проливе [Harvey, 1980; Morozov et al., 2010; Shor et al., 1980]. Граница раздела между ними находится на глубинах около 3200 м [Shor et al., 1980].

Колонка АМК-4515 была опробована непрерывно с шагом 2 см. Всего было получено 186 проб, которые впоследствии анализировались на изменение содержания терригенного материала, разносимого айсбергами, и на степень растворения раковин фораминифер. Ранее в лаборатории геоэкологии АО ИО РАН был выполнен анализ содержания карбоната кальция в осадках (рис. 2).

Следует отметить, что с высокой надежностью можно интерпретировать только верхнюю часть колонки АМК-4515 – 0–78 см. Нижняя часть разреза (78–370 см) характеризуется плохой сохранностью раковин планктонных и бентосных фораминифер вплоть до их полного отсутствия. Обеднены пробы и терригенным материалом песчаной фрак-

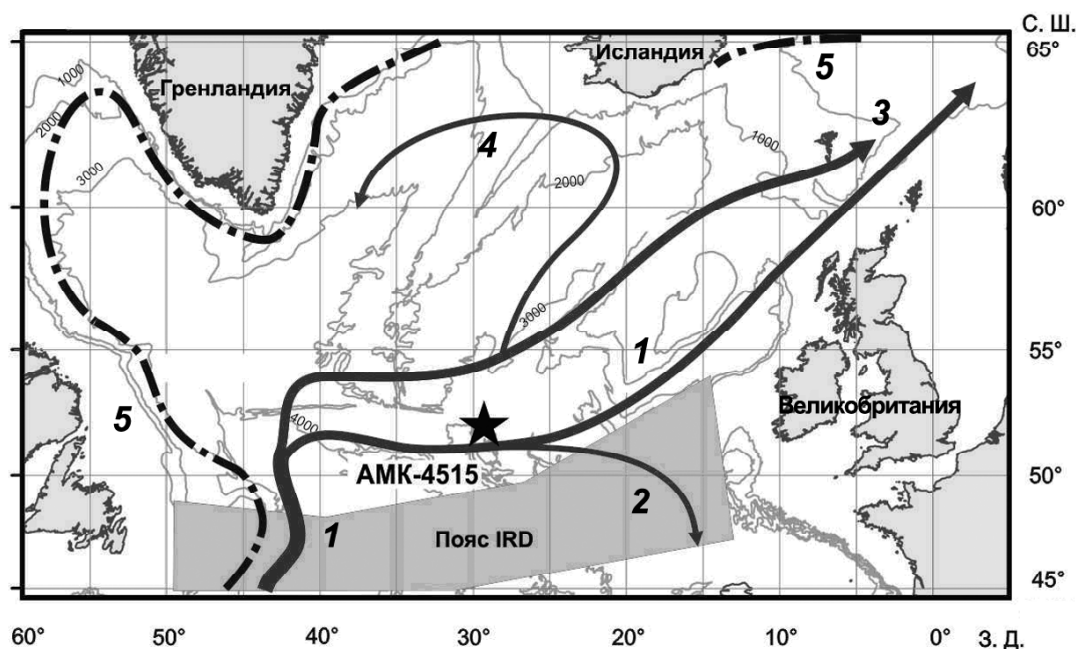


Рис. 1. Местоположение исследуемой колонки и общая схема поверхностной циркуляции в Северной Атлантике [Баширова с соавт., 2015]. Условные обозначения: 1 – Северо-Атлантическое течение, 2 – Канарское течение, 3 – Норвежско-Гренландское течение, 4 – течение Ирмингера; 5 – Северный полярный фронт. Звездочкой обозначена исследуемая колонка АМК-4515. Область серого цвета соответствует поясу IRD

Fig. 1. The position of studied core (showed by a star) and the general scheme of surface circulation in the North Atlantic [Bashirova et al., 2015]: 1 – North Atlantic Current, 2 – Canary Current, 3 – Norwegian Current, 4 – Irminger Current; 5 – North Atlantic Polar Front. The gray area indicates the IRD belt

ции, содержание которого недостаточно (<100 зерен на пробу) для правильного расчета показателя IRD: в пересчете их на 1 грамм значения приобретают аномально высокие показатели. В целом, осадки, накопленные в пределах данного интервала, имеют преимущественно глинистую размерность. Поэтому полученные данные по нижней секции не могут считаться статистически достоверными. Можно лишь предположить, что нижняя часть не является результатом нормальной пелагической седиментации. Далее будет рассматриваться и анализироваться только верхняя часть разреза.

Подсчет зерен IRD. Анализ изменения содержания терригенного материала в осадках позволяет зарегистрировать холодные события Хайнриха, имеющие общеизвестные датировки [Sarnthein et al., 2001; Hemming, 2004] и позволяющие уточнить палеотемпературные и другие реконструкции. В каждой пробе подсчитывалось не менее 300 зерен, после чего рассчитывался показатель IRD (количество терригенных зерен на 1 грамм просматриваемой навески). Для подсчета терригенных зерен использовалась фракция >150 мкм. Таким образом, кривая распределения IRD отражает соотношение терригенного и карбонатного материалов во фракции 150 мкм (рис. 3).

Сохранность раковин фораминифер. Для оценки степени влияния растворения на карбонатный материал все образцы из колонки АМК-4515 были дополнительно изучены на предмет сохранности раковин с помощью нескольких параметров:

1. Индекс растворения, предложенный В. Бергером [1970] и позволяющий подсчитать соотношение целых раковин в пробе и их фрагментов. Целыми раковинами считались также раковины, которые разрушены не более чем на 30%. Высокий процент фрагментов в образце является свидетельством растворения раковин холодными, агрессивными к карбонату глубинными водами.

2. Процент устойчивых к растворению видов (*Neoglobobadrina pachyderma* (s) (Ehrenberg), *Neoglobobadrina incompta* (Cifelli), *Globorotalia inflata* (d'Orbigny) [по Berger et al., 1972]. Позволя-

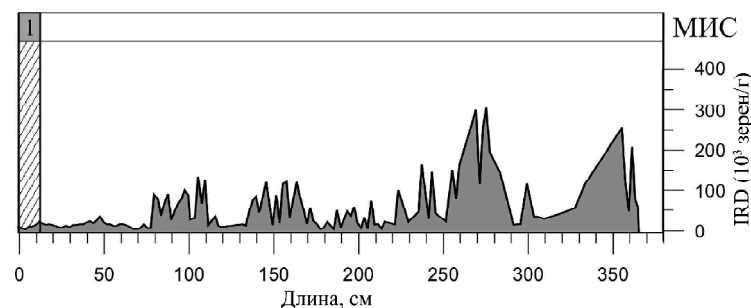


Рис. 3. Данные подсчета зерен IRD в колонке АМК-4515. МИС – морская изотопная стадия

Fig. 3. Ice-rafted debris (IRD) data from the AMK-4515 core, thousand grains/g. MIS – marine isotope stage

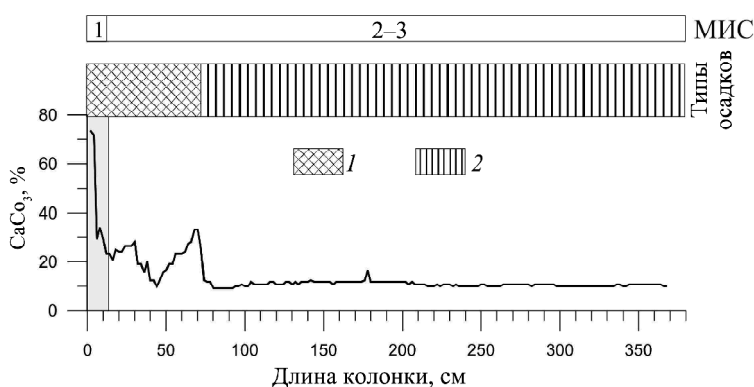


Рис. 2. Предварительное стратиграфическое подразделение колонки АМК-4515 и относительное содержание карбоната кальция в осадках. Серым цветом выделен климатический оптимум. МИС – морская изотопная стадия; 1 – мергельный кокколито-фораминиферовый ил, 2 – глинистый ил

Fig. 2. Preliminary stratigraphic subdivision of the AMK-4515 core and the proportion of calcium carbonate in sediments. The climatic optimum is shown by a gray bar. MIS – marine isotope stage; 1 – foraminiferal-nannofossil ooze, 2 – clayey mud

ет оценить степень ненарушенности танатоценоза. Как и предыдущий, этот параметр применяется в комплексе с другими и не может служить самостоятельным индикатором растворения, так как некоторые устойчивые к растворению виды всегда доминируют в танатоценозах во время холодных интервалов.

3. Доля неустойчивого к растворению вида планктонных фораминифер *Globigerinita glutinata* [Egger, 1893]. Помимо информации о растворении данный вид свидетельствует о распространении относительно теплых вод в районе исследования.

4. Соотношение бентосных и планктонных фораминифер. Резкое увеличение доли бентосных видов, имеющих более толстую стенку и в связи с этим более устойчивых к растворению, свидетельствует о влиянии растворения.

5. Относительное содержание карбоната кальция. Для правильной интерпретации данных этот параметр может использоваться только в комплексе с вышеперечисленными.

Результаты и обсуждение. При сопоставлении результатов подсчета зерен ледового разноса с данными по растворению и распределению карбоната кальция (рис. 4) в верхней части разреза колонки АМК-4515 (0–78 см) выявляется синхронность в изменении исследуемых параметров. Распределение устойчивых видов фораминифер и *G. glutinata* в целом соответствуют климатической изменчивости. Невысокие значения содержания фрагментов раковин и доли бентосных фораминифер в пробах (до 23 и 1,4% соответственно) свидетельствуют о незначительной роли растворения на исследуемом отрезке. В целом вариации содержания бентосных фораминифер отражают смену гидрологической обстановки в районе исследования, а не степень растворения карбонатных раковин. Анализ полученных кривых позволил выде-

лить три климатических интервала, предположительно охватывающих 3 морских изотопных стадии (МИС).

Первый интервал охватывает отрезок 78–64 см. Его пик характеризуется увеличением доли тепловодного вида *G. glutinata* (до 19%), а также уменьшением количества видов планктонных фораминифер (с 63 до 18%), устойчивых к низким температурам и растворению. Вероятно, в этот период СПФ мигрировал к северу от района исследования, что сопровождалось усилением адвекции теплых североатлантических вод в высокие широты. Это подтверждается относительно высоким (по сравнению с остальным разрезом) содержанием бентосных фораминифер (0,3–1,3%), реагирующих, в том числе, на увеличение продуктивности, что также является индикатором близости кромки плавучих льдов (СПФ); относительно высокими значениями карбоната кальция в осадках (10–35%) и фрагментов раковин (12–23%), а также низким содержанием зерен IRD (до 5 тыс. зерен/г) в пробах. Данный интервал, по всей видимости, относится к МИС 3.

Второй интервал (слой 64–6 см), по-видимому, соотносится с МИС 2 (максимум последнего оледенения). Маркерами резкого похолодания здесь выступают повышенные значения устойчивых к низким температурам и растворению видов планктонных фораминифер [по Berger et al., 1972], достигающих порядка 100% (по полученным ранее данным [Баширова с соавт., 2015]).

Абсолютное доминирование полярного вида *N. pachyderma* (s) с 35 см [Баширова с соавт., 2015] подтверждает сделанный вывод. Этот вид является показателем начавшегося самого холодного периода и миграции СПФ далеко на юг относительно своего современного положения. Почти полное отсутствие *G. glutinata* в образцах наряду с небольшим процентным содержанием фрагментов фораминифер свидетельствует о присутствии холодных вод в районе исследования. Влияние растворения здесь, как и в первом интервале, незначительно: содержание CaCO_3 не опускается ниже 10% и в среднем составляет 20%. Максимальные пики IRD отмечаются на 40–50 и 10–18 см (35 и 22 тыс. зерен/г соответственно) и, очевидно, соответствуют событиям Хайнриха (2? и 3?).

Айсберги, которые отламывались от ледниковых щитов, разносились течениями и при приближении к более южным и теплым широтам начинали таять, сбрасывая терригенный материал с материков и талую распресненную воду, препятствующую вертикальному водообмену. В свою очередь, это приводило к ослаблению активности

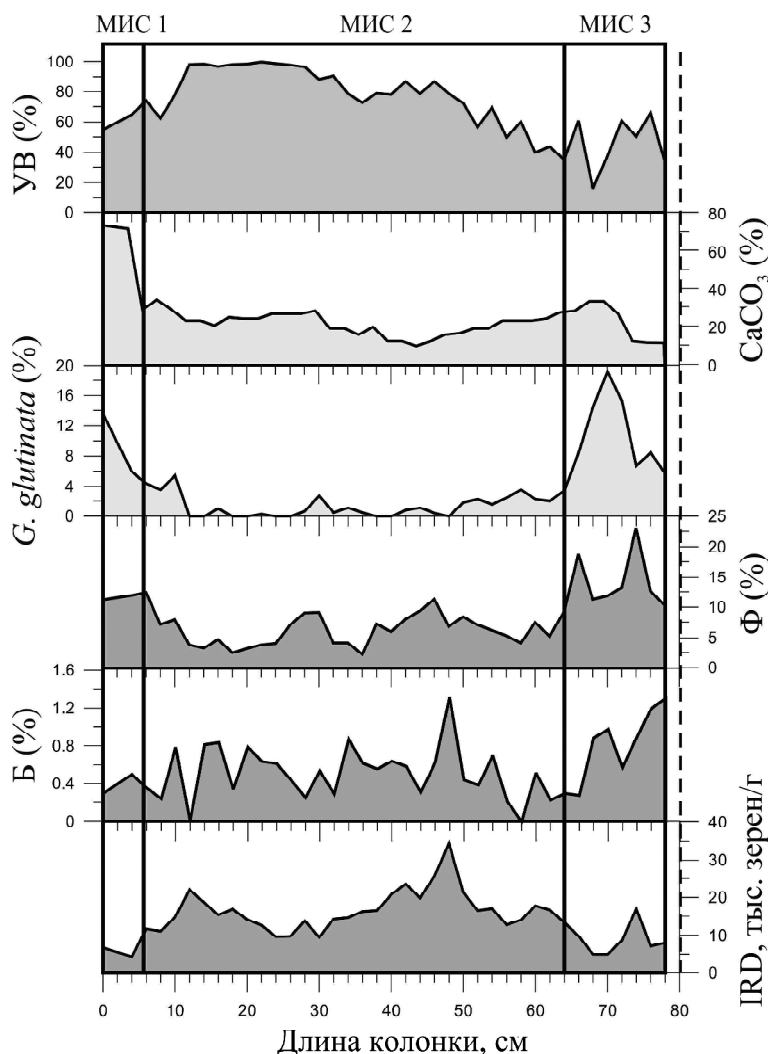


Рис. 4. Степень сохранности карбонатных раковин и данные подсчета зерен IRD в верхней части разреза АМК-4515: УВ – доля устойчивых видов в танатоценозе, Φ – доля фрагментов раковин, Б – доля бентосных фораминифер. МИС – морская изотопная стадия

Fig. 4. Degree of carbonate shell preservation and IRD data in the upper section of the AMK-4515 core: УВ – the percentage of resistant species, Φ – the proportion of fragments of foraminiferal shells, Б – the proportion of benthic foraminifera in total assemblages. MIS – marine isotope stage

поверхностной циркуляции в Северной Атлантике, в частности САТ, а значит, уменьшалась интенсивность формирования глубинных вод в Норвежско-Гренландском бассейне [Broecker, 1991; Ganopolski et al., 2001].

Известно, что во время последнего ледникового максимума СПФ мигрировал далеко на юг относительно своего современного положения. Это подтверждается опубликованными ранее данными [Бараш, 1974; Eynaud et al., 2009], свидетельствующими о том, что граница плавучих льдов во время последнего ледникового максимума достигала в Атлантике 40° с. ш. Полученные нами данные также показывают, что СПФ находился южнее местоположения колонки АМК-4515 в интервале 36–12 см (последний ледниковый максимум).

Очередное отступление СПФ к северу произошло во время последней дегляциации. По мере потеп-

ления холодноводные виды планктонных фораминифер уступали место тепловодным [Баширова с соавт., 2015]. В колонке АМК-4515, на горизонте 6–12 см наблюдается постепенное снижение доли устойчивых к растворению, холодноводных видов (до 60%), доли бентосных фораминифер (с 0,8 до 0,2%) и зерен IRD (до 11 тыс. зерен/г), а также увеличение содержания CaCO_3 (больше 30%) в осадке (рис. 4). Теплые североатлантические воды поступали в высокие широты, что неизбежно приводило к активизации формирования Северо-Атлантической глубинной воды и потеплению в Северном полушарии.

Во время МИС 1 (третий рассматриваемый интервал – 6–0 см) сохраняется общая тенденция потепления. Условия становятся близкими к современным.

Установлено, что на протяжении всего исследуемого периода глубина фораминиферового лизоклина варьировала незначительно относительно своего современного положения (примерно, на уровне 3,5–4 км [Бараш, 1988; Thurman et al., 2004]). На это указывает небольшое количество фрагментов раковин (до 10–20%) на данном интервале и не снижающиеся до критической глубины значения CaCO_3 (от 20 до 70%), а также низкий процент бентосных фораминифер (не более 0,6%).

Выводы:

– сравнение и анализ данных распределения зерен ледового разноса с данными по растворению и процентному соотношению карбоната кальция в верхней части колонки донных осадков АМК-4515 позволили выделить 3 климатических интервала:

– интервал 1 (слой 78–64 см, предположительно МИС 3) – начало этого периода знаменуется усилением адвекции североатлантических водных масс, отмечается положение СПФ севернее района исследования, но в непосредственной близости от него;

– интервал 2 (слой 64–6 см, МИС 2) характеризуется миграцией фронта к югу от исследуемого района в интервале 36–12 см (последний ледниковый максимум), а также включает в себя два события Хайнриха, сопровождающихся ослаблением активности поверхностной циркуляции;

– интервал 3 (слой 6–0 см, МИС 1) соответствует периоду потепления климата, при котором СПФ располагался севернее района исследования, усилилась Атлантическая меридиональная термохалинная циркуляция, условия стали схожими с современными.

Благодарности. Автор благодарит рецензентов, чьи замечания существенно улучшили статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бараш М.С. Граница плавучих льдов в Северной Атлантике в верхнем плейстоцене // Океанология. 1974. Т. XIV. Вып. 5. С. 846–851.
- Бараш М.С. Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М.: Наука, 1988. 272 с.
- Баширова Л.Д., Кулешова Л.А., Матиль А.Г. Миграции Северо-Атлантического течения и Северного полярного фронта в последнем ледниковом интервале и голоцене по данным изучения планктонных фораминифер // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2015. Т. I. С. 54–58.
- Дмитренко О.Б., Сивков В.В., Русаков В.Ю. Позднечетвертичные миграции Субарктического фронта Северной Атлантики (по литологии и наннофосилиям) // Океанология. 2009. Т. 49. № 2. С. 262–277.
- Кеннет Дж. Морская геология: В 2-х т. Т. 2. Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 384 с.
- Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
- Отчет о работах 48 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»: Отчеты начальника экспедиции, капитана и начальников отряда. Москва, 2002. С. 77–103.
- Родионов В.Б., Костяной А.Г. Океанические фронты морей Северо-Европейского бассейна. М.: ГЕОС, 1998. 293 с.
- Berger W.H. Planktonic foraminifera: selective solution and paleoclimatic interpretation // Deep-Sea Research. 1968. V. 15. P. 31–43.
- Berger W.H. Planktonic foraminifera: selective solution and the lysocline // Mar. Geol. 1970. № 8. P. 111–138.
- Berger W.H., Piper D.J.W. Planktic foraminifera: Differential settling, dissolution, and redeposition // Limnology and Oceanography. 1972. V. 17. P. 275–287.
- Broecker W.S. The Great Ocean Conveyor // Oceanography. 1991. V. 4. P. 79–89.
- Clark P.U., Pisias N.G., Stocker T.F., Weaver A.J. The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change // Nature. 2002. V. 415. P. 863–869.
- Dickson R.R., Meincke J., Malmberg S.-A., Lee A.J. The «great salinity anomaly» in the northern North Atlantic 1968–1982 // Prog. Oceanogr. 1988. V. 20. P. 103–151.
- Eynaud F., de Abreu L., Voelker A. Position of the Polar Front along the western Iberian margin during key cold episodes of the last 45 ka // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2009. V. 10. № 7. Q07U05. P. 1–21.
- Ganopolski A., Rahmstorf S. Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate model // Nature. 2001. V. 409. P. 153–158.
- Harvey J.G. Deep and bottom water in the Charlie-Gibbs Fracture Zone // J. Mar. Res. 1980. V. 38. P. 172–173.
- Hemming S.R. Heinrich events: Massive Late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint // Rev. Geophys. 2004. V. 42. RG1005. P. 1–43.
- Irvali N., Ninnemann U.S., Galaasen E.V. et al. Rapid switches in subpolar North Atlantic hydrography and climate during the Last Interglacial (MIS 5e) // Paleoceanography. 2012. V. 27. PA2207. P. 1–10.
- Johnsen S.J., Clausen H.B., Dansgaard W. et al. Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core // Nature. 1992. V. 359. P. 311–313.
- Kukla G.J., Bender M.L., de Beaulieu J.-L. et al. Last Interglacial Climates // Quaternary Research. 2002. V. 58. P. 2–13.
- MacAyeal D.R. Binge/Purge oscillations of the Laurentide Ice Sheet as a cause of the North Atlantic's Heinrich Events // Paleoceanography. 1993. V. 8(6). P. 775–784.

McManus J.F., Oppo D.W., Keigwin L.D. et al. Thermohaline circulation and prolonged interglacial warmth in the North Atlantic // Quat. Res. 2002. V. 58(1). P. 17–21.

Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Y., Zenk W. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean. Springer, Dordrecht. 2010. 281 p.

Rahmstorf S. Thermohaline Ocean Circulation // Encyclopedia of Quaternary Sciences / Ed. S.A. Elias. Amsterdam: Elsevier, 2006. P. 1–10.

Ruddiman W.F. Late Quaternary deposition of ice-rafted sand in the sub-polar North Atlantic (lat 40° to 65°) // Geol. Soc. Amer. Bull. 1977. V. 88. P. 1813–1821.

Sarnthein M., Stategger K., Dreger D. et al. Fundamental modes and abrupt changes in North Atlantic circulation and climate

over the last 60 ky – Concepts, reconstruction, and numerical modeling // The Northern North Atlantic: A Changing Environment / Eds.: P. Schäfer, W. Ritzrau, M. Schlüter and J. Thiede. Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. P. 365–410.

Shor A., Lonsdale P., Hollister C.D., Spencer D. Charlie-Gibbs fracture zone: bottom-water transport and its geological effects // Deep-Sea Research. 1980. V. 27A. P. 325–345.

Swift J.H., Aagaard K. Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland seas // Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. 1981. V. 28. P. 1107–1129.

Thurman H.V., Trujillo A.P. Introductory Oceanography, 10th Edition (Upper Saddle River). New Jersey: Pearson-Prentice Hall, 2004. 608 p.

Поступила в редакцию 20.07.2016

Принята к публикации 09.02.2017

L.A. Kuleshova¹

LATE PLEISTOCENE TO HOLOCENE CHANGES OF SURFACE WATER CIRCULATION IN THE CENTRAL NORTH ATLANTIC

Distribution of ice-rafted debris (IRD) and calcium carbonate (CaCO_3), as well as the data on dissolution of foraminiferal shells were studied in the AMK-4515 marine sediment core (central North Atlantic, Charlie-Gibbs Fracture Zone). The multiproxy approach made it possible to identify three intervals of surface circulation strengthening and weakening for the study area, corresponding to marine isotope stages (MIS) 1–3. The shift of the North Atlantic Polar front (PF) was also reconstructed. During the first climatic interval (78–64 cm, referred to MIS 3) the increased advection of North Atlantic water masses was recorded. The PF was located north of the study area. The second climatic interval (64–6 cm, MIS 2) is characterized by the southward migration of the PF and also includes two Heinrich events, accompanied by weakening surface circulation activity. During the Last Glacial Maximum (36–12 cm interval) the PF was located south of the study area. The third climatic interval (6–0 cm, MIS 1) corresponds to the warm period: the PF was shifted far northward of the Charlie-Gibbs Fracture Zone; the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) enhanced at that time; and the situation became similar to modern conditions.

Key words: palaeoceanographic reconstructions, Quaternary palaeoceanography, Charlie-Gibbs Fracture Zone, surface palaeocirculation, North Atlantic Current, North Atlantic Polar Front, Heinrich events.

Acknowledgements. Author would like to thank reviewers whose valuable comments contributed greatly to the improvement of the manuscript.

REFERENCES

Barash M.S. Chetvertichnaya paleoceanologiya Atlanticheskogo okeana [Quaternary Paleoceanology of the Atlantic Ocean]. Moscow: Nauka, 1988. 272 p. (in Russian).

Barash M.S. Granica plavuchikh l'dov v Severnoj Atlantike v verkhnem Plejstocene [The floating ice border in the North Atlantic in the Upper Pleistocene] // Okeanologiya. 1974. V. XIV. № 5. P. 846–851 (in Russian).

Bashirova L.D., Kuleshova L.A., Matul A.G. Migracii Severo-Atlanticheskogo techeniya i Severnogo polyarnogo fronta v poslednem lednikovom intervale i golocene po dannym izucheniya planktonnykh foraminifer [North Atlantic Current and Polar Front migrations during the Last Glacial interval and Holocene: evidence from planktonic foraminiferal data] // Geologiya morej i okeanov: Materialy XXI Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Shkoly) po morskoy geologii. Moscow: GEOS, 2015. V. I. P. 54–58 (in Russian).

Berger W.H., Piper D.J.W. Planktic foraminifera: Differential settling, dissolution, and redeposition. Limnology and Oceanography. 1972. V. 17. P. 275–287.

Berger W.H. Planktonic foraminifera: selective solution and paleoclimatic interpretation // Deep-Sea Research. 1968. V. 15. P. 31–43.

Berger W.H. Planktonic foraminifera: selective solution and the lysocline // Mar. Geol. 1970. № 8. P. 111–138.

Broecker W.S. The Great Ocean Conveyor // Oceanography. 1991. V. 4. P. 79–89.

Clark P.U., Pisias N.G., Stocker T.F., Weaver A.J. The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change // Nature. 2002. V. 415. P. 863–869.

Dickson R.R., Meincke J., Malmberg S.-A., Lee A.J. The «great salinity anomaly» in the northern North Atlantic 1968–1982 // Prog. Oceanogr. 1988. V. 20. P. 103–151.

Dmitrenko O.B., Sivkov V.V., Rusakov V.Yu. Late quaternary migrations of the subarctic front in the North Atlantic (Based on lithology and nanofossils) // Oceanology. 2009. V. 49. № 2. P. 242–256.

Eynaud F., de Abreu L., Voelker A. Position of the Polar Front along the western Iberian margin during key cold episodes of the

¹ Atlantic Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Laboratory for Geology of Atlantic, Research Engineer; I. Kant Baltic Federal University, Ph.D. student; e-mail: lubov_kuleshova@mail.ru

last 45 ka // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2009. V. 10. № 7. Q07U05. P. 1–21.

Ganopolski A. and Rahmstorf S. Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate model // *Nature*. 2001. V. 409. P. 153–158.

Harvey J.G. Deep and bottom water in the Charlie-Gibbs Fracture Zone // *J. Mar. Res.*, 38. 1980. P. 172–173.

Hemming S.R. Heinrich events: Massive Late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint // *Rev. Geophys.* 2004. V. 42. RG1005. P. 1–43.

Irvali N., Ninnemann U.S., Galaasen E.V. et al. Rapid switches in subpolar North Atlantic hydrography and climate during the Last Interglacial (MIS 5e) // *Paleoceanography*. 2012. V. 27. PA2207. P. 1–10.

Johnsen S.J., Clausen H.B., Dansgaard W. et al. Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core // *Nature*. 1992. V. 359. P. 311–313.

Kennett J. *Marine Geology* // Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall. 1982. 813 p.

Kukla G.J., Bender M.L., de Beaulieu J.-L. et al. Last Interglacial Climates // *Quaternary Research*. 2002. V. 58. P. 2–13.

Lisitzin A.P. *Processy okeanskoj sedimentacii* [Ocean sedimentary processes]. Moscow: Nauka, 1978. 392 p. (in Russian).

MacAyeal D.R. Binge/Purge oscillations of the Laurentide Ice Sheet as a cause of the North Atlantic's Heinrich Events // *Paleoceanography*. 1993. V. 8(6). P. 775–784.

McManus J.F., Oppo D.W., Keigwin L.D. et al. Thermohaline circulation and prolonged interglacial warmth in the North Atlantic // *Quat. Res.* 2002. V. 58(1). P. 17–21.

Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Y., Zenk W. *Abyssal Channels in the Atlantic Ocean*. Springer, Dordrecht. 2010. 281 p.

Отчет о работах 48 рейса НИС «Академик Мстислав Кельдыш»: Отчеты началь'ника экспедиции, капитана и началь'ников отрядов [Scientific report from the 48th cruise of R/V Akademik Mstislav Keldysh: reports of the head of the expedition, captain and heads of the groups]. М., 2002. P. 77–103 (in Russian).

Rahmstorf S. *Thermohaline Ocean Circulation* // *Encyclopedia of Quaternary Sciences* / Ed. S.A. Elias. Amsterdam: Elsevier. 2006. P. 1–10.

Rodionov V.B., Kostyanov A.G. *Okeanicheskie fronty morej Severo-Evropejskogo bassejna* [Oceanic Fronts of the Seas of the North European Basin]. Moscow: GEOS, 1998. 293 p. (in Russian).

Ruddiman W.F. Late Quaternary deposition of ice-rafted sand in the sub-polar North Atlantic (lat 40° to 65°) // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1977. V. 88. P. 1813–1821.

Sarnthein M., Stategger K., Dreger D. et al. Fundamental modes and abrupt changes in North Atlantic circulation and climate over the last 60 ky – Concepts, reconstruction, and numerical modeling // *The Northern North Atlantic: A Changing Environment* / Eds. P. Schafer, W. Ritzrau, M. Schluter, J. Thiede. Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. P. 365–410.

Shor A., Lonsdale P., Hollister C.D., Spencer D. Charlie-Gibbs fracture zone: bottom-water transport and its geological effects // *Deep-Sea Research*. 1980. V. 27A. P. 325–345.

Swift J.H., Aagaard K. Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland seas // *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*. 1981. V. 28. P. 1107–1129.

Thurman H.V., Trujillo A.P. *Introductory Oceanography*, 10th Edition (Upper Saddle River). New Jersey: Pearson-Prentice Hall, 2004. 608 p.

Received 20.07.2016

Accepted 09.02.2017