

УДК 551.352

КОНТУРНЫЕ ТЕЧЕНИЯ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В ПОСЛЕДНЕМ ЛЕДНИКОВОМ ЦИКЛЕ

© 2015 г. В. В. Сивков, Е. В. Дорохова, Л. Д. Баширова

*Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград**Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, Калининград**e-mail: sivkov@kaliningrad.ru*

Поступила в редакцию 25.06.2015 г.

В качестве показателя скорости придонных палеотечений в Северной Атлантике использовался средний размер минеральных частиц фракции 10–63 мкм, т.н. “mean of sortable silt” (\overline{SS}); также принимались во внимание моды гранулометрических распределений. В дрифтах Хаттон и Снорри осадки с бимодальными гранулометрическими распределениями (вторая мода – 10–28 мкм) и повышенными значениями SS (18–23 мкм) соответствуют периодам усиления придонных течений во время МИС 1, 3 и 5е. В осадках дрифта Глория связи между гранулометрическими характеристиками осадков и климатически обусловленной цикличностью контурного течения не выявлено. Сходство осадков колонки АМК-4493 с содержащими материал ледового разноса гемитурбидитами Лабрадорского моря ставит под сомнение контуритную природу “дрифта” Глория.

DOI: 10.7868/S0030157415060180

ВВЕДЕНИЕ

Поступление глубинных вод Норвежско-Гренландского бассейна в Северную Атлантику тесно связано с активностью “глобального океанического конвейера” [7]. Проникая с севера через Фареро-Исландское, Фареро-Шетландское и Гренландско-Исландское поднятия (пороги), эти воды распространяются в южном направлении в виде придонных геострофических течений, называемых контурными течениями, и формируют Северо-Атлантическую глубинную воду (САГВ). Считается, что эта глубинная вода является основным двигателем глобального океанского конвейера [7, 21].

Изменения свойств глубинных и придонных вод Северной Атлантики проявляются в сообществах бентосных фораминифер. Принято считать, что эти изменения обусловлены ледниковыми циклами, и формирование САГВ происходило, главным образом, в межледниковые периоды [5, 25]. В то же время геологические данные о придонных течениях САГВ фрагментарны и противоречивы.

Контуриты – донные осадки, сформированные под влиянием контурных течений, являются удобными объектами для палеоокеанологических исследований благодаря более высоким скоростям осадконакопления по сравнению с прилегающими пелагическими (гемипелагическими) осадками. Особенности формирования и распространение сложенных контуритами осадочных тел (дрифтов) в Северной Атлантике хорошо изучены [4, 8, 12, 22 и др.]. Цель настоящей работы –

по гранулометрическим свойствам контуритов выявить позднечетвертичные изменения скорости придонных течений, обусловленных поступлением в Северную Атлантику глубинных вод Норвежского бассейна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В 48-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” (2002 г.) с помощью гравитационной геологической трубки были отобраны колонки осадков: АМК-4438 (59°32' с.ш., 17°56' з.д., глубина 2374 м), АМК-4453 (60°02.25' с.ш., 32°01.97' з.д., глубина 2448 м), АМК-4493 (53°31.22' с.ш., 42°45.74' з.д., глубина 3547 м) (рис. 1). Колонка АМК-4438 была отобрана на северо-западном склоне поднятия Рокколл – у северного окончания дрифта Хаттон. Согласно описанию [3], в осадочном разрезе отмечено чередование известковых (кокколито-фораминиферовых) илов с миопелагическими мергельными илами. Колонка АМК-4453 получена в бассейне Ирмингера на западном фланге хребта Рейкьянес в осадках дрифта Снорри. В осадочном разрезе доминирует светло-коричневый (с оттенками) миопелагический мергельный ил. Колонка АМК-4493 получена в южной части дрифта Глория, расположенного к югу от Гренландии на границе морей Ирмингера и Лабрадорского. Осадочный разрез представлен в основном светло-коричневым (с оттенками) миопелагическим илом. По всему разрезу встречается материал ледово-айсбергового разноса

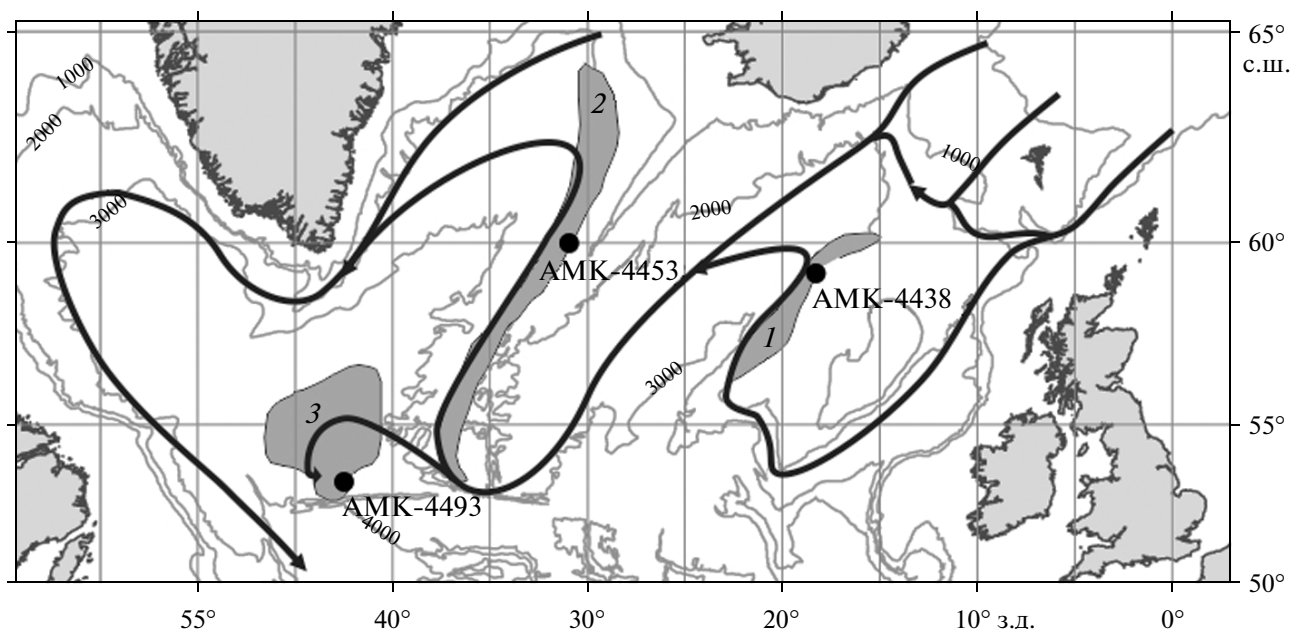


Рис. 1. Положение изученных колонок (показаны точками с индексами АМК-4438, -4453, -4493) и траектории придонных течений Северной Атлантики, сформированных глубинными водами Норвежско-Гренландского бассейна (показаны стрелками – по [19, 23]). Контуритные дрейфы (показаны ареалами с темной заливкой): 1 – Хаттон, 2 – Снорри, 3 – Глория.

гравийно-галечной размерности. Колонки опробовались с шагом 2 см.

Временные шкалы для исследуемых осадочных разрезов были построены, главным образом, на основе корреляции полученных изотопно-кислородных кривых со стандартной кривой LR04 [16] путем линейного интерполирования между опорными точками. Анализ изменения $\delta^{18}\text{O}$ в раковинах планктонных фораминифер (вид *N. pachyderma* (s), не менее 30 раковин в пробе, размер раковин >150 мкм) был выполнен в лаборатории радиометрического датирования и изотопных исследований им. К. Лейбница Кильского университета на масс-спектрометре “Finnigan MAT 251”. Точность метода составляет 0.07‰. Для колонки АМК-4438 имелись также выполненные ранее абсолютные датировки (^{14}C и $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$) [2]. Дополнительно были привлечены данные по содержанию в осадках карбоната кальция, полученные кулонометрическим методом на экспресс-анализаторе АН-7529М, а также – данные по содержанию материала ледового разноса (ice-rafted debris – IRD). Данные по IRD позволили выделить события Хайнриха, имеющие общеизвестные датировки [24].

В качестве показателя скорости палеотечений использовался средний размер минеральных частиц во фракции 10–63 мкм, т.н. “sortable silt” (\overline{SS}) [17, 18]. Повышенные значения показателя \overline{SS} соответствуют увеличению относительной

скорости палеотечения. При литодинамической интерпретации также принимались во внимание моды гранулометрических распределений. Детальный гранулометрический анализ фракции <63 мкм, предварительно выделенной ситовым методом, выполнялся на лазерном дифракционном анализаторе “Аналезетте 22” (“Фрич”, Германия). Дезинтеграция частиц перед анализом производилась с помощью триполифосфата натрия и ультразвуковой ванны, органическое вещество и карбонат кальция удалялись из проб перекисью водорода и соляной кислотой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По совокупности стратиграфических данных была построена временная шкала, основанная на морских изотопных стадиях (МИС), которая несколько перекрывает последний ледниковый цикл – МИС 1–6 (рис. 2).

По данным гранулометрического анализа было выявлено два типа распределений частиц осадка по размерам – одномодальное и бимодальное (рис. 3). Первая мода (2.5–7.5 мкм) присутствует во всех изученных пробах, она отражает процесс пелагического осадконакопления (механизм “частица за частицей”). В осадках дрейфов Хаттон (колонка АМК-4438) и Снорри (колонка АМК-4453) такие одномодальные распределения согласуются с невысокими значениями показателя \overline{SS} (10–15 мкм) и соответствуют ледниковым стадиям (МИС 2, 4, 6)

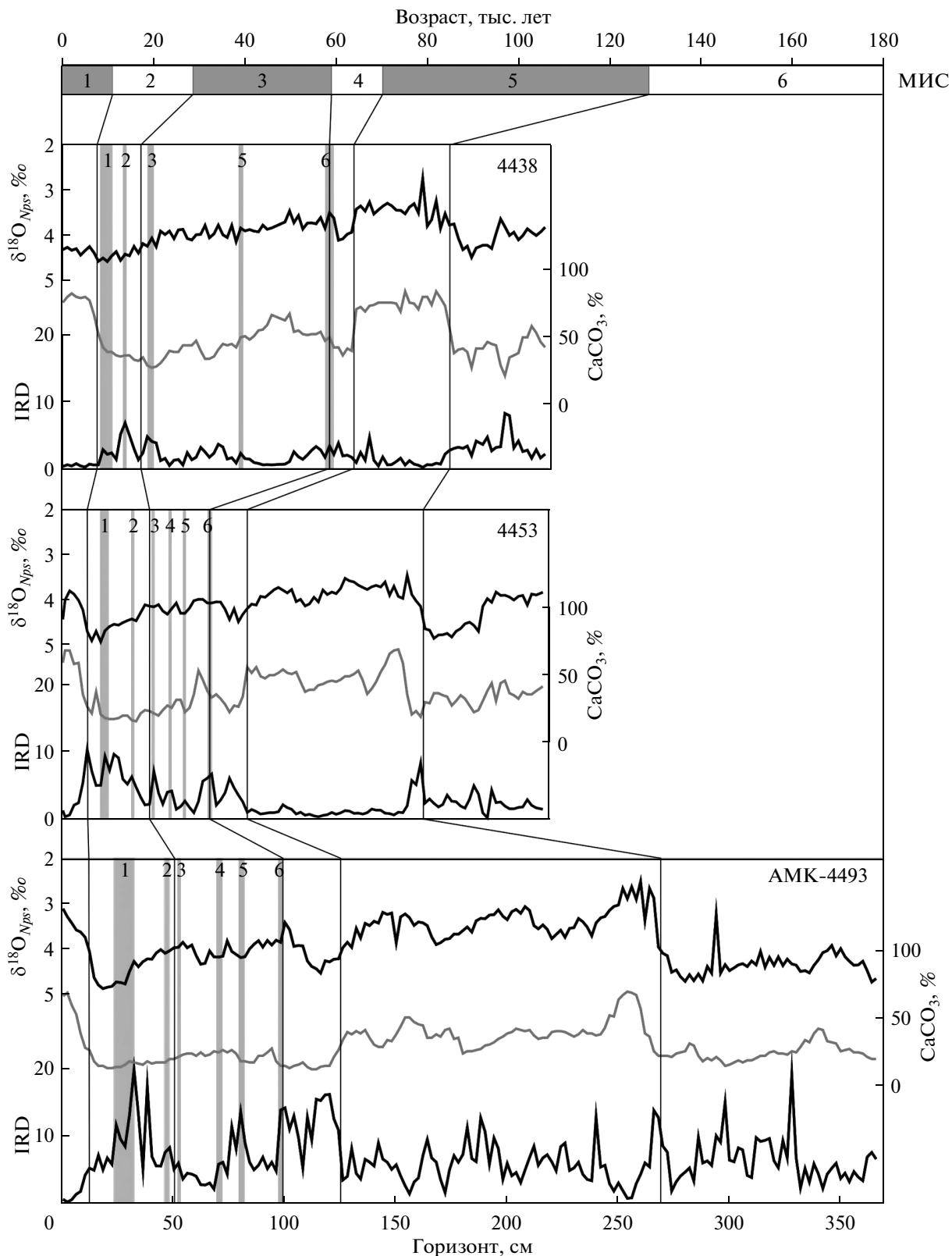


Рис. 2. Стратиграфическое расчленение и возрастная модель колонок АМК-4438, -4453, -4493 (содержание IRD, карбоната кальция в осадках, соотношение тяжелых и легких изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в раковинах планктонных фораминифер). МИС – морская изотопная стадия. Границы стадий показаны вертикальными линиями. Серые столбцы с цифрами – события Хайнриха 1–6 по [24]. IRD – материал ледового разноса (ice-rafted debris), тыс. зерен/г.

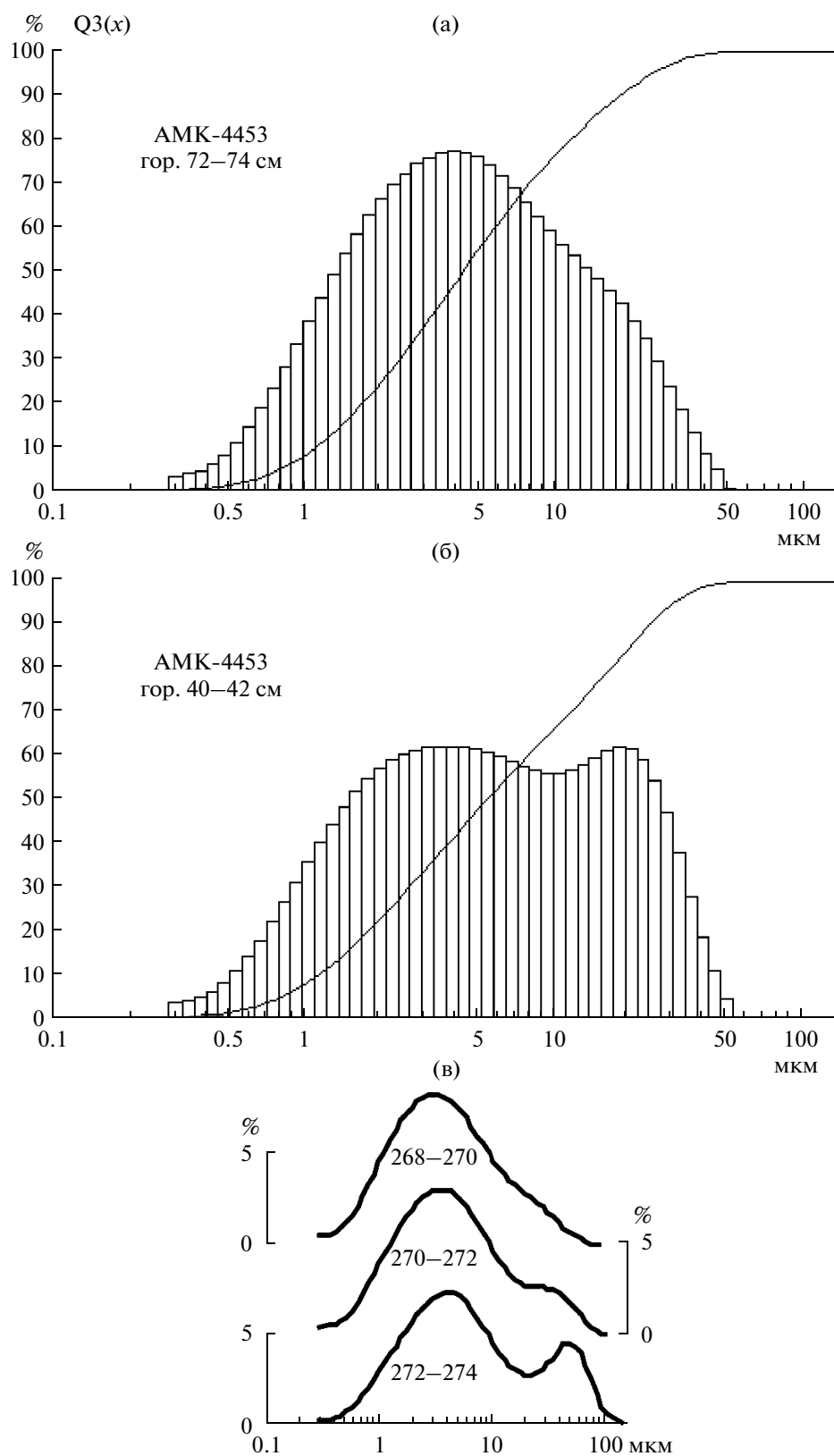


Рис. 3. Пример кумулятивных кривых и гистограмм гранулометрического распределения осадка колонок: (а) — одномодалное и (б) — бимодальное распределения в колонке АМК-4453; (в) — градационная структура осадка в колонке АМК-4493.

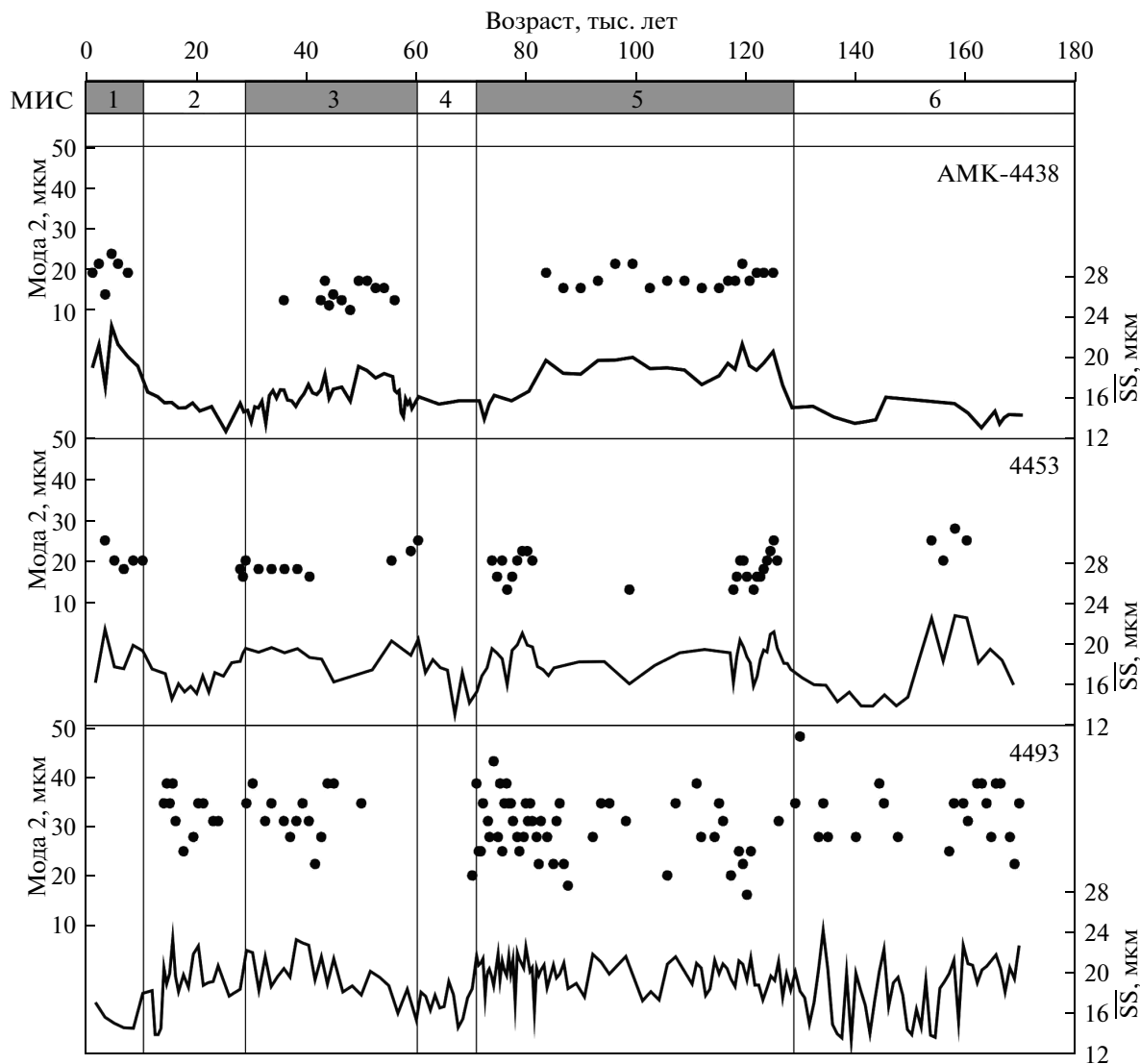


Рис. 4. Позднечетвертичная изменчивость гранулометрических показателей минеральных частиц фракции 10–63 мкм в изученных колонках (АМК): \overline{SS} – средний размер фракции “sortable silt”; мода 2 – вторая (алевритовая) мода гранулометрических распределений, МИС – морские изотопные стадии.

(рис. 4). Это свидетельствует об относительно слабых придонных течениях в периоды похолоданий.

Повышенные значения \overline{SS} (до 18–23 мкм) сочетаются с бимодальными гранулометрическими распределениями (вторая мода – 10–28 мкм) и соответствуют периодам усиления придонных течений во время МИС 1, 3 и 5е, т.е. во время потеплений. К востоку от хребта Рейкьянес (дрифт Хаттон) выявленная закономерность проявляется более четко, чем к западу от него (дрифт Снорри). Это объясняется относительной близостью дрифта Хаттон к порогам, через которые поступают воды Норвежского моря, формирующие контурные течения Северной Атлантики (см. рис. 1).

Усиление контурного течения над дрифтом Снорри на временном отрезке 152–160 тыс. л. н.

(в МИС 6) является исключением из выявленной закономерности. Этот эпизод совпадает со сменной доминированием полярного вида планктонных фораминифер *Neogloboquadrina pachyderma sin.* и субполярного вида *Tuborotalita quinqueloba*, а также увеличением содержания тепловодных видов планктонных фораминифер. В это же время по содержанию IRD отмечено уменьшение интенсивности ледового разноса, что согласуется с уменьшением мощности морского льда [6, 14]. Эти данные свидетельствуют о смещении к северу Северного полярного фронта [1, 15] и, соответственно, теплого Северо-Атлантического течения (CAT).

По видовому составу планктонных фораминифер синхронное потепление поверхностных вод

отмечено также над дрейфтами Хаттон и Глория [2], но здесь оно не сопровождалось усилением придонного течения – значения \overline{SS} невысоки. Такое сочетание положения САТ и активности придонных течений возможно, если основной переток вод Норвежского бассейна в Северную Атлантику происходит через Фареро-Исландский порог (см. рис. 1). Тогда, если переток через Фареро-Шетландский порог незначителен, то и придонное течение в районе дрейфта Хаттон ослабевает.

Что касается дрейфта Глория, то в колонке АМК-4493 повышенные значения \overline{SS} и бимодальные гранулометрические распределения вообще не обнаруживают связи с климатической цикличностью придонного течения. Этот факт, а также заметное смещение второй моды гранулометрических распределений в сторону более крупных частиц (25–40 мкм), повышенная скорость осадконакопления (согласно построенной временной шкале, см. рис. 2 – в среднем 2 см/тыс. л., по сравнению с 1.2 и 1.4 см/тыс. л. в дрейфтах Снорри и Хаттон соответственно) и более высокое содержание IRD – все это указывает на подчиненное значение придонных геострофических течений в сортировке алевритовой фракции. Следовательно, здесь должен существовать другой источник осадочного материала, доминирующий над формированием контуритов [17].

В этой связи обращает на себя внимание процесс образования гемитурбидитов в условиях существования ледового разноса осадочного материала. Впервые гемитурбидитами были названы градационные фации донных илов, идентифицированные в дистальной части Бенгальского глубоководного конуса выноса [26]. Их происхождение было связано с “всплыванием” части мутьевого (турбидитного) течения по мере осаждения из него крупных фракций взвеси и соответствующего уменьшения плотности суспензии. Оторвавшаяся от дна верхняя часть турбидитного течения, содержащая тонкие фракции взвеси, может распространяться на значительные расстояния и служить источником материала для формирования гемитурбидитов.

В Лабрадорском море согласно работе [13] комбинация двух процессов – механизма образования гемитурбидитов и ледового разноса осадочного вещества – обуславливает формирование специфичных фаций градационных илов, содержащих IRD. Моды гранулометрических распределений этих осадков, обусловленные присутствием IRD, сдвинуты в сторону увеличения размера частиц до 30–40 мкм. Известно, что IRD, помимо гравийной и песчаной размерности, могут иметь меньший размер [10, 11, 20]. Сравнивая IRD-содержащие гемитурбидиты Лабрадорского моря с особенностями градационной структуры колонки АМК-4493 (рис. 3), мы

обнаруживаем их очевидное сходство. Это позволяет поставить под сомнение существование контуритов в “дрейфте” Глория, по крайней мере, в его южной части.

Ранее IRD-содержащие гемитурбидиты отмечались в Лабрадорском море на расстоянии около 300 км от бровки шельфа [13]. По данным гранулометрического анализа колонки АМК-4493 и с учетом известных проявлений событий Хайнриха (увеличение IRD) в Северо-Западной Атлантике за пределами Лабрадорского моря [9], это расстояние может быть увеличено как минимум вдвое – до 600 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования показано, что в контуритах дрейфтов Хаттон и Снорри повышенные значения показателя \overline{SS} (18–23 мкм) и бимодальные гранулометрические распределения (вторая мода – 10–28 мкм) соответствуют периодам усиления контурных течений во время МИС 1, 3 и 5e. В осадках дрейфта Глория связи между гранулометрическими характеристиками осадков и климатически обусловленной цикличностью контурного течения не выявлено. Сходство осадков полученной здесь колонки АМК-4493 с IRD-содержащими гемитурбидитами Лабрадорского моря ставит под сомнение контуритную природу “дрейфта” Глория в его южной части.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 14-50-00095 “Мировой океан в XXI веке: климат, экосистемы, ресурсы, катастрофы” (В.В. Сивков, Л.Д. Баширова). Данные по гранулометрии, изотопии кислорода и IRD в колонках АМК-4453 и АМК-4493 получены и обобщены в рамках проекта РФФИ № 14-05-31349-мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бараш М.С. Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М.: Наука, 1988. 272 с.
2. Баширова Л.Д., Кандиано Е.С., Сивков В.В., Баух Х.А. Миграции Северного полярного фронта Атлантического океана по данным изучения комплексов планктонных фораминифер в течение последних 300 тысяч лет // Океанология. 2014. Т. 54. № 6. С. 844–854.
3. 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.
4. Лукашин В.Н. Седиментация на континентальных склонах под влиянием контурных течений. М.: ГЕОС, 2008. 249 с.
5. Лукашина Н.П. Водные массы северной части Исландской котловины в позднем плейстоцене // Океанология. 2013. Т. 53. № 1. С. 109–120.

6. Bassinot F.C., Labeyrie L.D., Vincent E. et al. The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal // *Earth and Planetary Science Letters*. 1994. V. 126. P. 91–108.
7. Broecker W.S. The Great Ocean Conveyor // *Oceanography*. 1991. V. 4. P. 79–89.
8. Faugeres J.-C., Stow D.A.V., Imbert P., Viana A. Seismic features diagnostic of contourite drifts // *Marine Geology*. 1999. V. 162. P. 1–38.
9. Grousset F.E., Labeyrie L., Sinko J.A. et al. Patterns of ice-rafted detritus in the glacial north Atlantic (40–55° N) // *Paleoceanography*. 1993. V. 8. P. 175–192.
10. Hass H.C. A method to reduce the influence of ice-rafted debris on a grain size record from northern Fram Strait, Arctic Ocean // *Polar Res*. 2002. V. 21. № 2. P. 299–306.
11. Hanslik D., Jakobsson M., Backman J. et al. Quaternary Arctic Ocean sea ice variations and radiocarbon reservoir age corrections // *Quaternary Science Reviews*. 2010. V. 29. P. 3430–3441.
12. Heezen B., Hollister C., Ruddiman W. Shaping of the continental rise by deep geostrophic contour currents // *Science*. 1966. V. 152. P. 502–508.
13. Hesse R., Khodabakhsh S. Significance of fine-grained sediment lofting from melt-water generated turbidity currents for the timing of glaciomarine sediment transport into the deep sea // *Sedimentary Geology*. 2006. V. 186. P. 1–11.
14. Imbrie J., Imbrie J.Z. Modeling the climatic response to orbital variations // *Science*. 1980. V. 207. P. 943–953.
15. Johannessen T., Jansen E., Flatoy A., Ravelo A.C. The relationship between surface water masses, oceanographic fronts and paleoclimatic proxies in surface sediments of the Greenland, Iceland, Norwegian seas // *Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constrains of the Oceans's Role in Global Change* / Ed. Zahn R. Berlin: Springer, 1994. P. 61–85.
16. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene–Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // *Paleoceanography*. 2005. V. 20. PA1003, doi: 10.1029/2004PA001071.
17. McCave I.N., Hall I.R. Size sorting in marine muds: Processes, pitfalls, and prospects for paleoflow-speed proxies // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2006. V. 7. № 10. Q10NN05, doi: 10.1029/2006GC001284.
18. McCave I.N., Manighetti B., Robinson S.G. Sortable silt and fine sediment size/ composition slicing: parameters for paleocurrent speed and paleoceanography // *Paleoceanography*. 1995. V. 10. P. 593–610.
19. McCave I.N., Tucholke B.E. Deep current-controlled sedimentation in the western North Atlantic // *The Geology of North America. The Western North Atlantic Region* / Eds. Vogt P.R., Tucholke B.E. Boulder: Geological Society of America, 1986. P. 451–468.
20. Prins M.A., Troelstra S.R., Kruk R.W. et al. The late Quaternary sedimentary record of Reykjanes Ridge, North Atlantic // *Radiocarbon*. 2001. V. 43. № 2B. P. 939–947.
21. Rahmstorf S. Thermohaline Ocean Circulation // *Encyclopedia of Quaternary Sciences* / Ed. Elias S.A. Amsterdam: Elsevier, 2006. P. 1–10.
22. Rebesco M., Hernández-Molina F.J., Van Rooij D., Wehlin A. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations // *Marine Geology*. 2014. V. 352. P. 111–154.
23. Rhein M., Kieke D., Hiittl-Kabus S. et al. Deep water formation, the subpolar gyre, and the meridional overturning circulation in the subpolar North Atlantic // *Deep-Sea Res. II*. 2011. V. 58. P. 1819–1832.
24. Sarnthein M., Statterger 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. Schäfer P. et al. Heidelberg: Springer, 2001. P. 365–410.
25. Sarnthein M., Winn K., Jung S. et al. Changes in east Atlantic deepwater circulation over the last 30000 years: Eight time slice reconstruction // *Paleoceanography*. 1994. V. 9. P. 209–267.
26. Stow D.A.V., Wetzel A. Hemiturbidite: a new type of deep water sediment // *Proc. Ocean Drilling Progr., Scient. Res.* V. 116 / Eds. Cochran J.R., Stow D.A., Aurox C. et al. Texas: Texas A&M University, College Station, 1990. P. 25–34.

Contour Currents of the North Atlantic during the Last Glacial Cycle

V. V. Sivkov, E. V. Dorokhova, L. D. Bashirova

Mean size of mineral particles of 10–63 μm fraction (so called “sortable silt” mean size (\overline{SS})) was used as proxy for paleocurrents intensity variations. The modes of grain size distribution were also examined. The sediments with bimodal grain size distribution (the second mode varies from 10 to 28 μm) correlate with increased mean size of sortable silt (up to 18–23 μm) at the Hatton and Snorry drifts. These parameters indicate bottom currents intensity increase MIS 1, 3 and 5e. There is no correlation between grain size distribution and climatic cyclicity of variations in contour currents intensity at the Gloria drift. The similarity between AMK-4493 sediments and IRD-containing hemiturbidites of Labrador Sea puts in doubt the contourite nature of the Gloria Drift.