

УДК 582.77.634.0.56

ББК 28.5

Д.Ю. Николаева, Л.Д. Баширова, Е.А. Новичкова, Н.В. Козина

ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ В ПОСЛЕЛЕДНИКОВОЕ ВРЕМЯ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА ЛЕДОВОГО РАЗНОСА И ПЛАНКТОННЫХ ФОРАМИНИФЕР*

Представлены данные об условиях осадконакопления в Северной Атлантике в послеледниковое время. Выполнены палеорекострукции на основе подсчета зерен ледового разноса, доли полярного вида планктонных фораминифер и содержания карбоната кальция в осадках мини-кернов, полученных при отборе поверхностной толщи осадков с помощью дночерпателя. Выявлено, что практически все исследуемые разрезы были накоплены во время голоцена под влиянием Северо-Атлантического течения. Осадконакопление в районе отбора мини-кернов АИ-3415 и АИ-3383 происходило под влиянием двух элементов циркуляции: Северо-Атлантического течения и Северного полярного фронта.

Ключевые слова:

материал ледового разноса, планктонные фораминиферы, поверхностные осадки, Северная Атлантика.

Николаева Д.Ю., Баширова Л.Д., Новичкова Е.А., Козина Н.В. Изменение условий осадконакопления в Северной Атлантике в послеледниковое время по данным изучения материала ледового разноса и планктонных фораминифер // Общество. Среда. Развитие. – 2017, № 4. – С. 145–151.

© Николаева Дарья Юрьевна – студент, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград; e-mail: nikolaevadarya@yandex.ru

© Баширова Лейла Джангировна – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН; Балтийский федеральный университет им. И. Канта, старший научный сотрудник, Калининград; e-mail: bas_leila@mail.ru

© Новичкова Екатерина Александровна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; e-mail: enovichkova@mail.ru

© Козина Нина Владимировна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; e-mail: kozina_nina@bk.ru

Северная Атлантика является интересным и важным районом для изучения климатических изменений в прошлом, так как крупномасштабная циркуляция в данном районе играет ведущую роль в формировании глобального климата [1]. Для понимания механизмов современных климатических флуктуаций необходимо знать их историю и закономерности.

Палеорекострукции выполняются на основе данных геоморфологического, литолого-геохимического и микропалеонто-

логического анализов, позволяющих установить те или иные условия седиментации в прошлом. Таким образом, донные морские осадки являются важнейшим источником информации о географии прошлого и представляют собой своеобразную летопись изменений природной среды. В открытой части Северной Атлантики записана непрерывная осадочная летопись, выраженная в изменениях качественного и количественного состава микрофоссилий. Несмотря на то, что сегодня одной

* Экспедиционные исследования проводились при финансовой поддержке гранта РНФ, проект № 14-50-00095 «Мировой океан в XXI веке: климат, экосистемы, ресурсы, катастрофы»; аналитические исследования выполнены в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук. №МК-204.2017.5 «Исследование поверхностной циркуляции и условий осадконакопления в Северной Атлантике в позднем плейстоцене и голоцене по данным изучения планктонных фораминифер».

Местоположение исследуемых мини-кернов

Колонка	Координаты	Глубина моря, м	Длина разреза, см
АИ-3359	59°29,885' с.ш., 24°42,105' з.д.,	2517	16
АИ-3378	59°29,977' с.ш., 32°50,533' з.д.	2175	15
АИ-3383	59°27,637' с.ш., 36°09,998' з.д.	3084	13
АИ-3415	55°34,252' с.ш., 46°12,695' з.д.	2985	11

из задач палеоокеанологии являются вышесказанные реконструкции, немаловажным является изучение пространственно-временных колебаний океанской циркуляции, в том числе исследование изменения конфигурации поверхностных течений в прошлом [2].

Цель данного исследования – изучить изменение условий осадконакопления в Северной Атлантике в послеледниковое время.

Материалы и методы исследования. Материалом для исследования послужили 4 мини-керны донных осадков, которые были получены в 49-м рейсе НИС «Академик Иоффе» в 2015 году. Отбор кернов проводился с помощью вырезки ненарушенного верхнего слоя осадков, отобранных дночерпателем «Океан-0.25» (рис. 1; табл. 1) [4, с. 834; 5, с. 28–29].

Мини-керны АИ-3359, АИ-3378 и АИ-3383 образуют широтный разрез вдоль 60° с.ш. (рис. 2). Судя по распределению температур поверхностных вод в районе исследования, осадки в месте отбора мини-керна АИ-3359 и АИ-3378 накапливались под влиянием Северо-Атлантического течения (САТ). Значения зимних современных температур поверхностного слоя океана (0–50 м) в точках отбора составляют 8,11°С и 6,19°С, соответственно.

В точке отбора мини-керна АИ-3383 зимняя температура поверхностного слоя составляет 5,04°С, свидетельствуя о близости границы Северного полярного фронта (СПФ).

Мини-кern АИ-3415 был отобран с северо-западной части дрефта Глория. Точка отбора находится южнее и восточнее остальных мини-кернов, что отразилось на значении современной зимней температуры в поверхностном слое океана в районе отбора осадков – 3,97°С. Такое низкое значение свидетельствует о значительном влиянии СПФ на осадконакопление в районе исследования, особенно в зимний период.

Литологическое описание мини-кернов проводилось на борту в соответствии с классификацией Безрукова и Лисицына [3]. Цвет осадков определялся по международной шкале цветности (Munsell Soil Color Chart).

Основным компонентом осадочного вещества в районе исследования являются карбонатные остатки зоопланктона, формирующие в основном кокколито-фораминиферовые илы светло-коричневых оттенков. Взятие вырезки из дночерпателя позволило получить ненарушенные мини-керны. В осадках часто присутствуют остатки водорослей, полихет. На всех станциях отмечены следы активной биотурбации. Помимо биогенной составляющей, большой вклад в состав поверхностных осадков вносит ледовый разнос [4, с. 833]. В основном он представляет собой неокатанные частицы мелко гравийной (2,5–1 мм) и песчаной (1–0,1 мм) размерности. На станции АИ-3378 в районе западной части хребта Рейкьянес практически на всех элементах ледового разноса отмечены черные железистые корки.

Мини-керны были опробованы непрерывно с шагом 1 см. Пробы (всего 51 проба) были взвешены, промыты дистиллированной водой и просеяны через сито с размером ячеек 150 мкм. Фракции были высушены в сушильном шкафу. В лаборатории геологии Атлантики АО ИО РАН с помощью кулометрического метода на анализаторе углерода АН-7529 был выполнен анализ относительного содержания углерода. Расчет CaCO_3 из $\text{C}_{\text{карб}}$ производился с коэффициентом 8,3. Под микроскопом МПСУ-1 были подсчитаны терригенные зерна ледового разноса (ice-rafted debris – IRD). Каждая проба разделялась микросплиттером до получения навески, содержащей не менее 300 терригенных зерен. Пробы с небольшим содержанием IRD просматривались полностью. Показатель IRD рассчитывался как процент

терригенного материала от общей пробы. Кроме того, был выполнен подсчет планктонных фораминифер в пробах (не менее 300 раковин в пробе). Была подсчитана доля раковин полярного вида *Neoglobobadrina pachyderma* (s) (Ehrenberg) в исследуемых образцах.

Минералогический состав материала терригенного разноса определялся в лаборатории геологии Атлантики АО ИО РАН вед. инженером С.М. Исаченко во фракции 100 мкм в каждой третьей пробе. Всего было проанализировано 20 проб. Содержание минералов было выражено в процентах.

Определение относительного возраста осадков мини-кернах АИ-3359, АИ-3378, АИ-3383, АИ-3415 было выполнено по результатам литологического описания, микропалеонтологического анализа, данным подсчета IRD, а также определения относительного содержания карбоната кальция в осадках.

Результаты и выводы

Литологическое описание исследуемых разрезов.

Станция 3359. На станции вскрыты однородные известковые алевроито-пелитовые илы мощностью 16 см со следами активной биотурбации. Изменения вверх по керну прослеживаются исключительно за счет смены цвета (14–16 см ил светло-коричнево-серого цвета (2.5Y/6/2), 14–16 см – ил темно-серо-коричневого цвета (10YR/3/2), 0–12 см – ил светло-оливково-коричневого цвета (2.5Y/5/3) с остатками водорослей). Верхний слой осадка (0–2 см) сильно обводнен [5, с. 35–36]. Содержащийся в незначительных количествах терригенный материал (в основном алевроитовой размерности; 0,1–0,01 мм) представлен единичными зернами кварца и полевых шпатов; на горизонте 0–1 см встречаются единично слюда, вулканическое стекло и кристаллы карбонатов (табл. 2).

Таблица 2

Минералогический состав материала терригенного разноса

Станция, горизонт, см	кварц	пол. шпаты	вулк. стекло	амфибол	эпидот	слюда	крист. карб.	аксессуары (циркон, гранат, др.)
АИ-3359								
0–1	2.0	0.5	0.5	–	–	ед.*	ед.	–
3–4	ед.	–	–	–	–	–	–	–
6–7	ед.	–	–	–	–	–	–	–
9–10	ед.	–	–	–	–	–	–	–
12–13	ед.	–	–	–	–	–	–	–
15–16	ед.	–	–	–	–	–	–	–
АИ-3378								
0–1	5.0	2.0	ед.	–	–	–	ед.	–
3–4	4.0	2.0	ед.	ед.	–	–	ед.	–
6–7	5.0	2.0	ед.	ед.	–	ед.	ед.	–
9–10	3.0	1.0	ед.	–	–	–	ед.	–
12–13	4.0	1.0	ед.	–	–	–	–	–
АИ-3383								
0–1	40.0	18.0	ед.	2.5	ед.	ед.	ед.	ед.
3–4	38.0	16.0	–	1.5	0.5	ед.	ед.	ед.
6–7	35.0	15.0	ед.	1.5	0.3	0.3	ед.	ед.
9–10	30.0	14.0	ед.	2.0	ед.	0.3		ед.
12–13	28.0	10.0	ед.	1.5	ед.	0.3	ед.	–
АИ-3415								
0–1	2.0	1.0	ед.	–	ед.	–	–	–
3–4	4.0	2.0	1.0	ед.	ед.	–	–	–
6–7	4.0	1.0	1.5	–	–		ед.	ед.
9–10	5.0	2.0	1.5	–	–	ед.	–	ед.

* Примечание: ед.- единичные зерна (менее 0,3%).

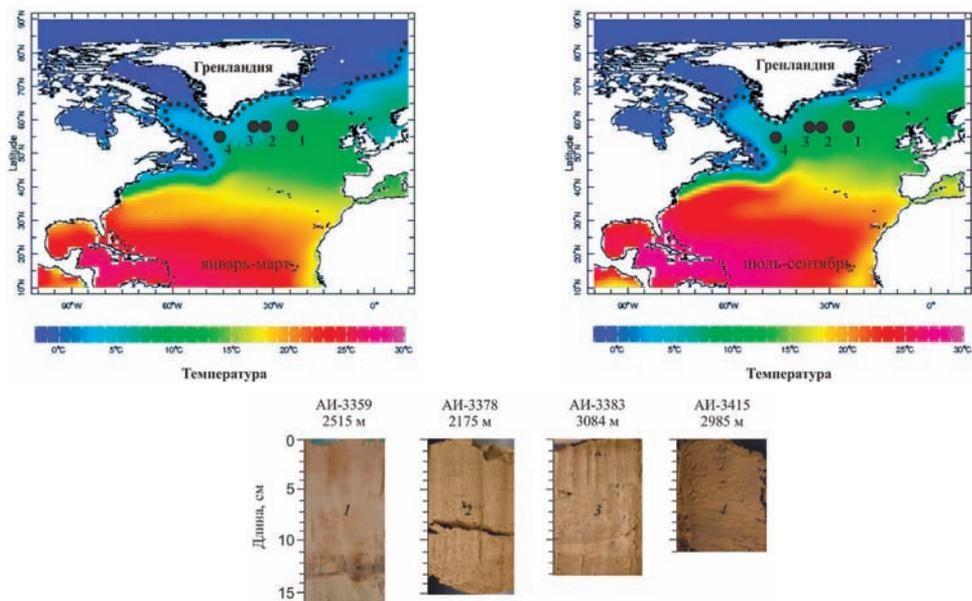


Рис. 1. Местоположение исследуемых мини-кернов и распределение сезонной (зима и лето) температуры поверхностного слоя океана (0–50 м) в Северной Атлантике по данным Stephens et al. [10]; Пунктиром обозначена граница Северного полярного фронта.

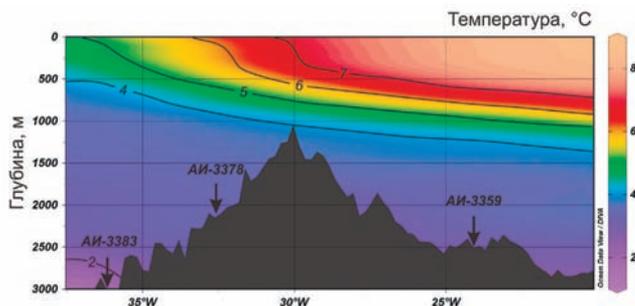


Рис. 2. Распределение температуры в водной толще на широтном разрезе вдоль 60° с.ш. [11]. Построено с помощью [10].

Станция 3378. Мини-керном вскрыты известковые (кокколито-фораминиферовые) пески мощностью 15 см, светло-коричневые (10YR/6/3), с большой примесью обломков каменного материала ледового разноса от алевритовой (0,1–0,01 мм) до мелко валунной (250–100 мм) размерности, очень слабо окатанные.

На 13 см обнаружен валун размером 13×16 см. Терригенный материал представлен в основном зернами кварца и полевых шпатов. Единично встречаются вулканическое стекло, амфиболы, слюда и кристаллы карбонатов. На поверхности обломков пород отмечены железистые корки, свидетельствующие о проходящих окислительных процессах в верхнем слое осадка [5, с. 39].

Станция 3383. На интервале 10,5–13 см мини-керном вскрыты известковые алеврито-пелитовые (кокколито-фораминиферовые) или оливково-коричневого цвета (2.5Y/4/3) с примесью обломков каменного материала ледового разноса алевритовой (0,1–0,01 мм) размерности и раковин фораминифер. В верхней части разреза на интервале 0–10,5 см вскрыты светло-оливково-коричневые (2.5Y/5/3) известковые алеврито-пелитовые илы с песчаной (1–0,1 мм) примесью, представленной раковинами фораминифер, а также с обломками каменного материала ледового разноса. Каменный материал слабо окатанный, представлен в основном кварцем, полевыми шпатами с присутствием амфиболов. Отмечены единичные зерна эпидота,

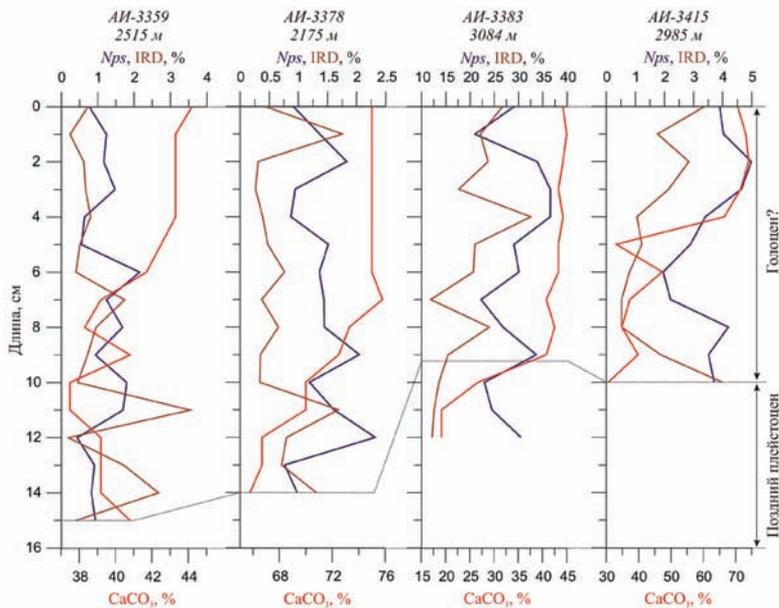


Рис. 3. Распределение относительного содержания *N. pachyderma* (s), IRD и CaCO_3 в поверхностных осадках.

вулканическое стекло, слюда, кристаллы карбонатов, а также периодически встречаются аксессуарные минералы (циркон, гранта). Верхний слой 0–2 см сложен известковым кокколито-фораминиферовым песком. Осадки биотурбированы [5, с. 42].

Станция 3415. На интервале 7–11 см мини-керном вскрыты известковые алеврито-пелитовые илы серо-коричневого цвета (2.5Y/5/2) с примесью известкового песка (кокколито-фораминиферового) светло-оливково-коричневого цвета (2.5Y/5/3) – до 50%. В осадке также присутствуют обломки практически не окатанного каменного материала ледового разноса алевритовой (0,1–0,01 мм) размерности, крупных раковин фораминифер и полихет. На обломках пород отмечается ожелезнение. В верхней части керна на интервале 0–7 см вскрыты пески известковые (кокколито-фораминиферовые) светло-оливково-коричневого цвета (2.5Y/5/3) с примесью слабо окатанных обломков каменного материала ледового разноса от алевритовой (0,1–0,01 мм) до галечной (25–10 мм) размерности. Терригенный материал мини-керна представлен кварцем и полевыми шпатами, с примесью вулканического стекла. Единично встречаются амфиболы, эпидот, слюда, кристаллы карбонатов и аксессуарные минералы (циркон, гранта и др.). Вся толща осадка подвержена биотурбации [5, с. 43].

Судя по слабой окатанности терригенного материала в мини-керлах, а также его

составу, можно предположить, что источником этого материала являлись айсберги.

Стратиграфическое подразделение исследуемых мини-кернов

В качестве основных параметров для выделения устойчивых межледниковых условий нами были приняты следующие показатели:

1. Относительное содержание *N. pachyderma* (s) менее 10% (для мини-керна AI-3383 менее 40%).

2. Доля терригенного материала в образцах менее 10% (для миникерна AI-3383 менее 30%).

3. Доля CaCO_3 более 30%.

Изучение распределения указанных параметров в верхнем слое осадка позволило определить относительный возраст исследуемых мини-кернов и выделить интервалы, соответствующие ослаблению и усилению адвекции теплых вод САТ и его ответвлений в северных широтах.

Распределения полярного вида планктонных фораминифер *N. pachyderma* (s), IRD и CaCO_3 в осадках мини-керна AI-3359 свидетельствуют о межледниковых (голоценовых) условиях осадконакопления в данном районе. Относительное содержание *N. pachyderma* (s) не превышает 2.2 %, а доля IRD – 3.54 %, что является индикатором тепловодных условий в районе исследования. При этом максимальные значения CaCO_3 составляют 44.2% (рис. 3).

Высокие значения относительного содержания *N. pachyderma* (s) практически всегда соответствуют увеличению зерен IRD и обратно пропорциональны содержанию карбоната кальция. В целом по разрезу наблюдаются низкие значения CaCO_3 (от 37,5% до 44,2%).

Наименьшие значения карбоната кальция наблюдаются в пределах интервала 10–12 см (37,5 %) и соответствуют максимальному значению IRD (3,54 %).

Известно, что во время голоцена происходили климатические колебания [6; 7]. Нами также отмечены изменения палеоиндикаторов поверхностных условий среды в районе отбора мини-керн АИ-3359. Интервал 0–5 см накопился в наиболее теплых по сравнению с остальным разрезом поверхностных гидрологических условиях, что маркируется относительно высоким содержанием CaCO_3 (не менее 42–44%) и относительно низкими значениями IRD и *N. pachyderma* (s) (не более 1,5 и 0,8%, соответственно). Увеличение значений IRD и полярного вида *N. pachyderma* (s) наряду с уменьшением содержания в осадках карбоната кальция является индикатором кратковременных похолоданий в пределах голоцена. Наиболее выраженные интервалы таких похолоданий наблюдаются на горизонтах 7–9 см и 10–12 см.

Осадки, вскрытые мини-керном на станции АИ-3378, западнее хребта Рейкьянес, были сформированы в условиях межледниковья, о чем свидетельствуют низкие значения *N. pachyderma* (s) (не более 2,3%) и IRD (1,7%), а также высокие значения карбоната кальция (65,8%) (рис. 3).

Мини-керн можно условно разделить на два интервала: 0–9 см и 9–15 см. Интервал 9–15 см характеризуется относительно низкими (по сравнению в верхним интервалом) значениями карбоната кальция (в диапазоне 65–70%). В то же время наблюдается постепенное увеличение доли терригенных зерен в осадках с пиком на горизонте 11–12 см (1,6%). Содержание полярного вида планктонных фораминифер значительно варьирует, достигая максимума на горизонте 12–13 см (2,3%). В целом интервал сформировался в наиболее холодных условиях среды в пределах исследуемого нами разреза.

Интервал 0–9 см характеризуется уменьшением значений IRD (до 0,26%) и *N. pachyderma* (s) (до 0,9%). При этом содержание карбоната кальция в осадках достигает 75% и остается практически неизменным несмотря на резкое увеличение доли IRD (до 1,75%) и *N. pachyderma* (s) (до 1,8%) в пределах интервала 1–3 см. Это свидетель-

ствует о незначительной смене поверхностных условий в районе отбора миникерна.

Осадки мини-керн АИ-3383, вероятно, были накоплены под влиянием расположенного близко к району исследования СПФ. Об этом свидетельствуют относительно высокие по сравнению с остальными разрезами доли IRD (до 32,5%) и *N. pachyderma* (s) (до 36,5%) по всей толще разреза, а также низкое видовое разнообразие планктонных фораминифер, отмеченное при просмотре образцов.

Условно разрез можно разделить на два интервала: 0–9 см и 9–13 см. Интервал 9–13 см характеризуется низкими значениями CaCO_3 (менее 30% с минимумом 19,2%), что свидетельствует о холодных поверхностных гидрологических условиях в районе исследования (поздний плейстоцен?). Тем не менее, нами отмечены относительно низкое содержание IRD (12–15%) и *N. pachyderma* (s) (22–33%) по сравнению с остальной частью разреза. Аномально высокие значения IRD (до 32%) и *N. pachyderma* (s) (до 36%) в интервале 0–9 см свидетельствуют о распространении плавающих льдов в районе исследования в зимний период. Присутствие большого количества терригенного материала может быть индикатором разгрузки большого объема айсбергов, дрейфовавших в данном районе [8, с. 1823]. Подобные изменения поверхностных условий скорее всего являются региональными, т.к. точка пробоотбора находится между границей СПФ и потоком течения Ирмингера, направляющимся вдоль восточного хребта Рейкьянес на север [9, с. 2]. Учитывая, что современное значение зимней температуры в районе пробоотбора не превышает 5°C, даже незначительные изменения положения этих элементов циркуляции могли сказаться на изменении поверхностных гидрологических условий.

Осадки мини-керн АИ-3415, очевидно, были накоплены в течение голоцена, о чем свидетельствуют низкие значения *N. pachyderma* (s) (не более 5 %) и IRD (не более 3,9%). Значения карбоната кальция варьируют в пределах 30–74,2%. Ориентируясь на распределение CaCO_3 в осадках мини-керн, можно выделить два интервала в пределах исследуемого разреза: 0–6 см и 6–11 см.

Интервал 6–11 см был накоплен в относительно холодных условиях. Он характеризуется постепенным увеличением значений карбоната кальция с 30% до 50%. Одновременно наблюдается уменьшение доли IRD с 4% на горизонте 11–12 см до 0,5% на горизонте 7 см. Доля *N. pachyderma* (s) варьирует примерно в пределах 3–4% с тенденци-

ей к уменьшению. Интервал 0–6 см характеризуется резким увеличением карбоната кальция (68–74%). Тем не менее наблюдается также и увеличение *N. pachyderma* (s) (до 5%) наряду с IRD (до 3% и более).

Несмотря на то, что мини-кern AI-3415 был отобран в районе, который расположен на пути дрейфа айсбергов и находится под влиянием СПФ, значения IRD и *N. pachyderma* (s) в осадках не такие высокие, как в мини-керна AI-3383. Это может объясняться воздействием САТ, циркулирующим южнее дрейфа Глория. Тем не менее, данный район исследования характеризуется наиболее низкими температурами поверхностных вод (современная зимняя температура составляет 3,97°C), что свидетельствует о преобладающей роли СПФ. Увеличение CaCO₃ одновременно с *N. pachyderma* (s) и IRD₃ может свидетельствовать об увеличении уровня продуктивности в районе вследствие близости кромки морского льда.

Таким образом, комплексный анализ мини-керна показал, что условия осадконакопления во время голоцена значительно менялись не только во временных, но и в пространственных масштабах. Это объясняется миграциями СПФ и САТ в прошлом в субширотном и в субмеридиональном направлениях [2, с. 852].

Мини-керна AI-3359 и AI-3378 вскрыли осадки, накопленные в течение голоцена под влиянием относительно теплого САТ. Было отмечено, что восточнее хребта

Рейкьянес осадки обеднены карбонатом кальция по сравнению с районом, расположенным к западу от него.

Осадки мини-керна AI-3383 и AI-3415 накопились в течение голоцена и позднего плейстоцена-голоцена, соответственно, под воздействием двух элементов циркуляции: САТ и СПФ. Так, под влиянием теплого САТ, расположенного очень близко к точке отбора мини-керна AI-3415, были сформированы осадки, относительно обедненные терригенным материалом и обогащенные карбонатом кальция. Влияние СПФ на накопление голоценовых осадков в данном районе оказалось слабее.

В осадконакоплении в районе отбора мини-керна AI-3383, наоборот, значительную роль сыграла близость СПФ. Низкое содержание карбоната кальция в позднплейстоценовых осадках свидетельствует о неблагоприятных поверхностных условиях для планктонных фораминифер, которые являются основным источником CaCO₃ в данном районе. Влияние СПФ на осадконакопление в течение голоцена отразилось в обилии материала айсбергового разноса, а также холодноводного вида планктонных фораминифер *N. pachyderma* (s).

Терригенный материал исследуемых мини-керна представлен в основном полевыми шпатами и кварцем с примесью вулканического стекла, амфиболов. Единично встречаются слюда, эпидот, кристаллы карбонатов и акцессорные минералы (циркон, гранат).

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. – Т. 54. – 2014, № 6. – С. 844–854.
- [3] Безруков П.Л., Лисицын А.П. Классификация осадков современных морских водоемов // Геологические исследования в Дальневосточных морях. Труды Ин-та океанологии. Т. XXXII. – М.: АН СССР, 1960. – С. 3–14.
- [4] Клювиткин А.А., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Новичкова Е.А., Саввичев А.С., Козина Н.В., Баширова Л.Д., Амбросимов А.К., Бутько Д.Ф., Исаченко С.М. Геологические исследования Северной Атлантики в 49-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» // Океанология. Т. 56. – 2016, № 5. – С. 833–835.
- [5] Отчет о работах 49 рейса НИС «Академик Иоффе». – Москва, 2015.
- [6] Bond G.C., Shower W., Elliot M., et al. The North Atlantic's 1-2 kyr climate Rhythm: Relation to Heinrich Events, Dansgaard/Oeschger cycles and the Little Ice Age // Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales. Geophysical Monograph. – 1999, V. 112. – P. 35–58.
- [7] Bond G., Kromer B., Beer J. et al. Persistent solar influence on north Atlantic climate during the Holocene // Science. – 2001, v. 294. – P. 2130–2136.
- [8] 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.
- [9] Sarafanov A., Falina A., Mercier H. et al. Mean full-depth summer circulation and transports at the northern periphery of the Atlantic Ocean in the 2000s // J. Geoph. Res. – 2012, vol. 117. – DOI: 10.1029/2011JC007572.
- [10] Schlitzer R. Ocean Data View. – 2016. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://odv.awi.de>
- [11] Stephens C., Antonov J.I., Boyer T.P., Conkright M.E., Locarnini R.A., O'Brien T.D., Garcia H.E. World Ocean Atlas 2001, Volume 1: Temperature / S. Levitus, Ed. – NOAA Atlas NESDIS 49, U.S. – Wash., D.C.: Government Printing Office, 2002. – 167 pp. – CD-ROMs.