

Л. Д. Баширова, Е. В. Дорохова, В. В. Сивков
Л. А. Кулешова, Е. П. Пономаренко

ОСОБЕННОСТИ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАБРАДОРСКОГО МОРЯ

44

Исследована колонка донных осадков АМК-4474, отобранная на прирусловом валу Северо-Западного атлантического срединно-океанического глубоководного канала. С помощью микропалеонтологического и гранулометрического анализов выявлены особенности осадконакопления в данном районе в позднечетвертичное время. Показано, что позднечетвертичные осадки на прирусловых валах канала сформированы во время мощного турбидитного потока с признаками пульсации. Делается вывод о том, что около 26 тыс. лет назад в исследуемом районе стал преобладать пелагический тип седиментации.

The authors analyzed the marine sediment core АМК-4474 recovered from the Northwest Atlantic Mid-Ocean Channel levee. Micropaleontological and grain size analyses were applied to study the main features of sedimentation process in this region during the Late Quaternary. It was shown that Late Quaternary sediments of the channel levees were accumulated during the powerful turbidity current with fluctuations signs. About 26 thousand years ago, the pelagic type of sedimentation became predominant in the studied area.

Ключевые слова: Северо-Западный атлантический срединно-океанический глубоководный канал, пелагиты, турбидитные потоки.

Keywords: Northwest Atlantic Mid-Ocean Channel, pelagites, turbidity currents.

Введение

Придонная гидродинамика во многом определяет процессы седиментации в глубоководных бассейнах Мирового океана, что позволяет использовать полученные в ходе экспедиций осадочные разрезы для реконструкции условий осадконакопления в этих районах в прошлом. Одной из ключевых проблем сегодня является дифференциация типов осадков в зависимости от процессов, регулирующих их накопление [9].

В этом смысле бассейн Лабрадорского моря — весьма интересный объект для исследования, так как для этого района характерно сочетание нескольких процессов осадконакопления и соответствующих им типов осадков: пелагическое осадконакопление (пелагиты), мутьевые (турбидитные) потоки (турбидиты), сортировка осадков течениями (контуриты), седиментационный апвеллинг (гемитурбидиты — промежуточный тип между турбидитами и гемипелагитами) [5; 6; 13]. При этом практически во всех случаях терригенный вклад доминирует [7].

Терригенный материал в осадках Лабрадорского бассейна имеет два основных источника: материал ледового разноса и турбидитные (мутьевые) потоки. Зерна ледового разноса (в мировой литературе ис-



пользуется термин IRD — *ice-rafted debris*) дрейфуют в составе айсбергов, откальывающихся от ледовых щитов в Северном полушарии, а по мере таяния этих айсбергов оседают на дно и накапливаются в осадках [3]. Высокое содержание IRD в осадках, как правило, свидетельствует о существовании холодных условий в районе исследования, а также маркирует кратковременные (в геологическом масштабе) холодные события — события Хайнриха. Так как главным источником айсбергов в Северной Атлантике считается Лаврентийский ледовый щит, основной поток айсбергов дрейфует в составе Лабрадорского течения, оказывая влияние на условия осадконакопления в этом районе [4].

Другой особенностью бассейна Лабрадорского моря можно назвать существование сложной подводной эрозионно-аккумулятивной системы с множеством внешних русел и ответвлений — Северо-Западного атлантического срединно-океанического глубоководного канала, который играет важную роль в транспорте терригенных осадков в составе турбидитных потоков к глубинным бассейнам Северо-Западной Атлантики: Лабрадорскому и Ньюфаундлендскому бассейну, а также абиссальной равнине Сом [5].

Цель данной работы — выявить особенности позднечетвертичных условий осадконакопления в одном из русел Северо-Западного атлантического срединно-океанического глубоководного канала.

Материал и методы исследования

В качестве материала для исследования была использована колонка донных осадков АМК-4474 (57° 51' 52" с. ш., 51° 17' 20" з. д., глубина моря 3565 м, длина колонки 318 м), отобранная в 48-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (2002) на прирусловом валу к северу от Северо-Западного атлантического срединно-океанического глубоководного канала (рис. 1).

Исследуемая колонка опробована непрерывно с шагом 2 см. Стратиграфическое расчленение колонки выполнено с использованием нескольких параметров: данных о содержании карбоната кальция в осадках, полярного вида планктонных фораминифер, а также содержания терригенных зерен ледового разноса. С помощью кулонометрического метода на экспресс-анализаторе АН-7529М был выполнен анализ относительного содержания углерода. Расчет CaCO_3 производился по данным содержания углерода в осадках.

Под микроскопом МБС-10 подсчитаны терригенные зерна ледового разноса и доля раковин полярного вида планктонных фораминифер — *Neogloboquadrina pachyderma* (s) (Ehrenberg). Каждая проба делилась микросплиттером до получения навески, содержащей не менее 300 раковин планктонных фораминифер. В пробах подсчитывалось количество раковин полярного вида, а остальные виды были отнесены к категории «другие». Для подсчета зерен IRD пробы также разделялись микросплиттером до получения навески, содержащей не менее 300 терригенных зерен. Показатель IRD рассчитывался как количество зерен на грамм сухого осадка.

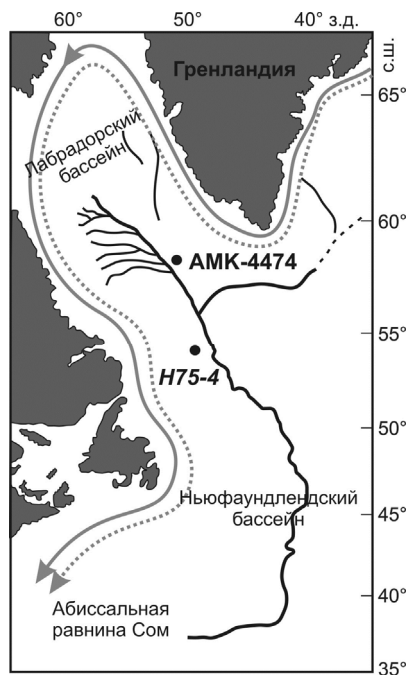


Рис. 1. Район исследования и местоположение исследуемой колонки донных осадков АМК-4474: черными линиями показан канал и его рукава (по [5; 11]); серой пунктирной линией — траектория Северо-Западной глубинной воды; серой сплошной линией — поверхностная циркуляция; Н 75-4 — колонка донных осадков, используемая в данной работе для сравнения [5]

Литологическое описание колонки было выполнено с использованием подхода Стоу и Пайпера [12] на основе визуального описания, результатов гранулометрического анализа валовых проб осадка (без удаления карбонатной составляющей) и содержания карбоната кальция. Подробная методика описана в [1].

Гранулометрический анализ выполнялся на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц *SALD 2300 (Shimadzu, Япония)* на кафедре географии океана БФУ им. И. Канта. 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. На характерных горизонтах выполнялся гранулометрический анализ проб без предварительной химической обработки (валовые пробы), что позволило использовать эти данные для литологического описания.

Результаты

Литологическое описание и стратиграфическое подразделение. Согласно визуальному описанию и данным гранулометрического анализа валовых проб осадка исследуемая колонка состоит из двух резко отличающихся осадочных пачек (рис. 2).

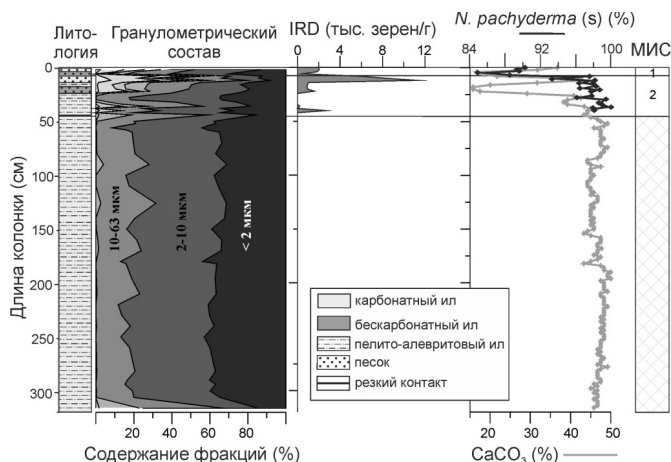


Рис. 2. Литология и стратиграфическое подразделение исследуемой колонки: МИС – морская изотопная стадия; IRD – терригенный материал айсбергового разноса. Содержание фракций представлено в градациях серого: от пелитовых илов (черный цвет) до крупных песков (светло-серый цвет)

Верхняя пачка (0–48 см) сложена карбонатными илом с примесью песка (> 63 мкм), представленного как раковинами фораминифер, так и зернами IRD. Содержание карбоната кальция варьирует в пределах 15–50 %, средний размер частиц осадка изменяется от 3,1 до 38,9 мкм. Максимальный пик IRD наблюдается в интервале горизонта 8–12 см и совпадает с максимальным содержанием песчаной фракции в колонке (50 %). На горизонте 42 см четко выражен резкий контакт.

Нижняя пачка колонки (48–316 см) представлена гомогенными пелито-алевритовыми илами с прослоями более плотных илов мощностью около 1 см и признаками биотурбации согласно визуальному описанию. В гранулометрическом составе прослоев несколько повышена доля алевритовой фракции. В среднем ее содержание (2–63 мкм) составляет 50–60 %, пелитовой (< 2 мкм) – 40–50 %, песчаная фракция отсутствует. Средний размер частиц валовых проб осадка значительно ниже, чем в верхней пачке, и составляет 2,3–4,1 мкм.

Верхняя пачка, скорее всего, накопилась за последние 20–28 тыс. лет. Ледниковый интервал (8–48 см) соответствует второй морской изотопной стадии (МИС 2) и маркируется высоким содержанием IRD с максимальным пиком в конце МИС 2. Этот интервал характеризуется также высоким содержанием *N. pachyderma* (s) (98–100 %) и минимальным пиком содержания карбоната кальция. Интервал 0–8 см относится к МИС 1 (последние ~14 тыс. лет) и совпадает с резким снижением количества зерен IRD и содержания раковин полярного вида фораминифер *N. pachyderma* (s) до минимальных значений (84 %). На горизонте 0–2 см содержание *N. pachyderma* (s) снова увеличивается, но не достигает «ледниковых» значений.

Очень низкое количество раковин фораминифер, представленных преимущественно видом *N. pachyderma* (s), и IRD практически во всех пробах нижней пачки, а также однородная кривая распределения карбоната кальция не позволяют стратифицировать нижнюю часть разреза и свидетельствуют о различных процессах формирования верхней и нижней пачек колонки.

Гранулометрия терригенного осадка. Непрерывные гранулометрические распределения терригенной части осадков верхней пачки представлены одно- и бимодальными кривыми. Вклад материала ледового разноса соответствует четко выраженной моде в области песчаных фракций, тогда как пологая мода 3–4 мкм характеризует процессы пелагического осадконакопления. После растворения биогенного материала в пробах нижней пачки выяснилось, что размерный состав терригенной части характеризуется чередованием тонких илов со сглаженным гранулометрическим распределением и модой 3–4 мкм с прослоями с увеличенным содержанием алевритовой фракции и четко выраженной модой 17–24 мкм (рис. 3). Некоторые алевритовые прослои соответствуют прослоям несколько более плотного ила в валовом осадке.

Интересно, что, несмотря на высокое содержание карбоната кальция в нижней части колонки после его удаления гранулометрический состав осадков изменился незначительно. Поскольку содержание раковин фораминифер очень низкое, основную долю карбонатного материала составляют обломки раковин фораминифер и, возможно, кокколиты алеврито-пелитового размера.

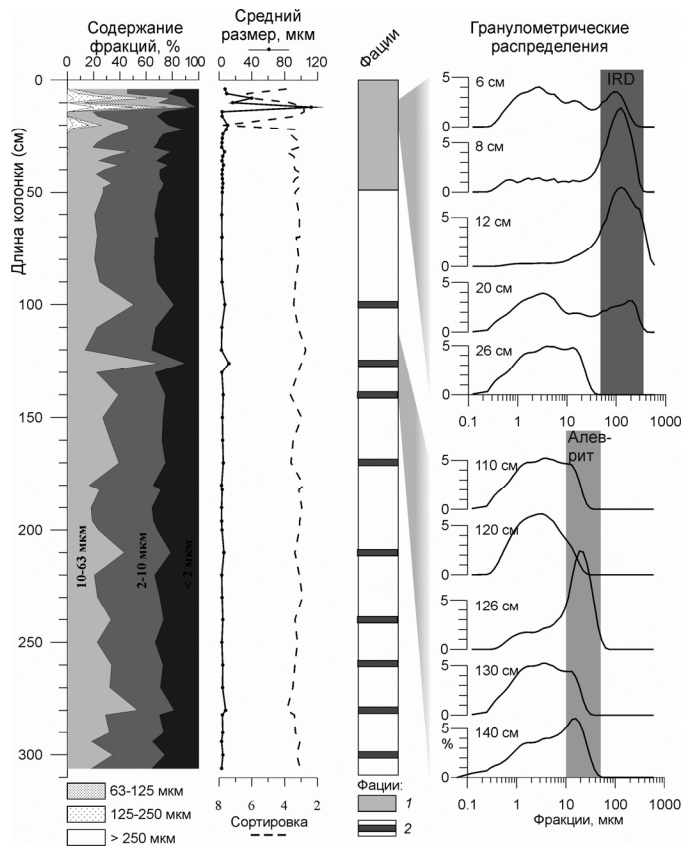


Рис. 3. Гранулометрический состав терригенной части осадков колонки АМК-4474; фации: 1 – пелагиты; 2 – тонкозернистые турбидиты



Обсуждение

Сопоставление полученных результатов с данными, Р. Хессе и соавт. [5] (колонка Н75—4, рис. 4), позволяет уточнить особенности осадконакопления в районе колонки АМК-4474. В обеих колонках верхняя осадочная пачка представлена пелагическими осадками, характерными для большей части Лабрадорского бассейна, с высоким содержанием раковин фораминифер и зерен IRD.

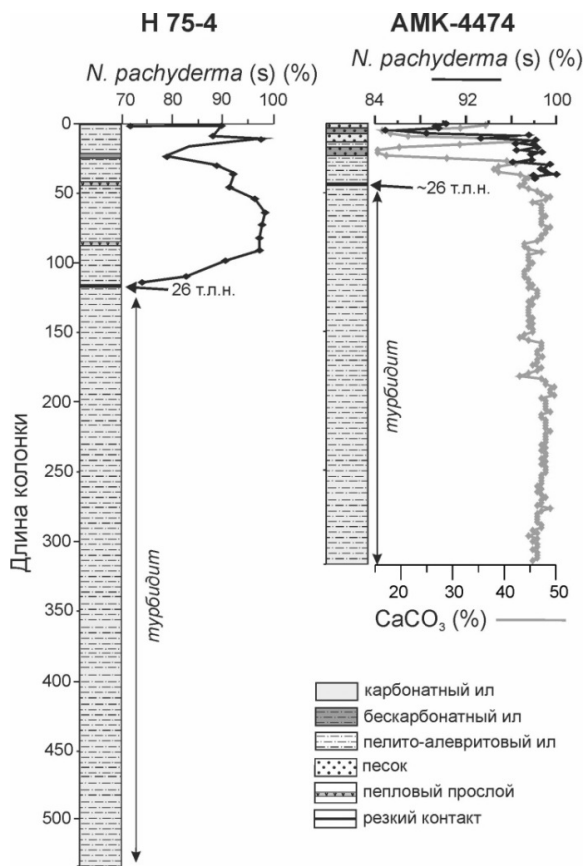


Рис. 4. Литология колонок АМК-4474 и Н75-4 (по [5]), отобранных на прирусловых валах канала

В колонке Н75—4 нижняя граница этой пачки проходит в интервале 115—122 см, который был датирован с помощью радиоуглеродного метода и имеет календарный возраст около 26 тыс. лет [5]. Содержание *N. pachyderma* (s) здесь близко к 100 % в ледниковое время и незначительно снижается в межледниковье (верхние 30 см) (рис. 4). Высокое содержание полярного холодноводного вида *N. pachyderma* (s) в межледниковых осадках обеих колонок обусловлено влиянием холодных вод поверхностных Восточно-Гренландского и Лабрадорского течений. Кроме того, район отбора колонок пролегает на пути дрейфа айсбер-



гов, которые тают по мере движения к югу, что увеличивает распреснение поверхностных вод. Вид *N. pachyderma* (s), преимущественно обитающий в верхних 25–70 м поверхностного слоя океана [10], чутко реагирует на поступление этой талой воды.

Нижняя пачка колонки АМК-4474 (48–316 см), как и нижняя часть сравниваемой с ней колонки Н75-4 (122–550 см), сложена тонкозернистыми турбидитами. Известно, что турбидиты характеризуются определенной последовательностью (циклы Боума). Классическая схема турбидита (от основания к верхним слоям): песок от массивного до сортированного, песок с параллельной слоистостью, песок со знаками ряби, тонкий песок и алеврит с параллельной слоистостью, алеврито-пелитовый ил (от гомогенного до биотурбированного) [2].

В исследованной колонке АМК-4474 нижняя пачка характеризуется однородным пелито-алевритовым илом. Это позволяет классифицировать данную пачку как верхнюю часть турбидитной последовательности.

Отсутствие нижних турбидитных фаций обусловлено местом отбора колонки – на прирусловом вале канала. Согласно Р. Хессе и соавт. [5], прирусловые валы канала сложены верхними тонкозернистыми частями мутьевого потока, крупнозернистая нижняя часть которого откладывается непосредственно в русле канала и лишь в редких случаях перехлестывает через его борта.

Кроме того, в терригенной части осадков колонки АМК-4474 наблюдаются хорошо выраженные тонкие прослои алевритов. Известно, что повышенные значения минеральной фракции 10–63 мкм соответствуют увеличению относительной скорости придонного палеотечения [8]. Увеличенные пики алевритовой моды в исследованной колонке, наблюдаемые в нижней пачке, свидетельствуют об усилении течения (например, горизонт 126 см); низкие значения, наоборот, говорят об ослаблении течения (например, горизонт 120 см) (см. рис. 3). В колонке Н75-4 также отмечены прослои в нижней пачке [5]. Это дает основание предполагать, что осадки нижних пачек обеих колонок представляют собой турбидит с признаками пульсации.

Судя по датировке 26 тыс. лет назад в колонке Н75-4, смена условий осадконакопления в данном районе произошла перед последним ледниковым максимумом. Это совпадает с данными, полученными для верхней пачки колонки АМК-4474, которая также накопилась в позднечетвертичное время. Таким образом, мощный турбидитный поток, способствовавший отложению тонкозернистых осадков на прирусловых валах канала, возник около 26 тыс. лет назад.

Заключение

Сравнение исследуемого осадочного разреза с колонкой Н75-4, отобранной на прирусловом валу с противоположной стороны канала, показало их очевидное сходство и подтвердило нашу гипотезу о турбидитной природе нижней части колонки АМК-4474. Стратиграфическая корреляция рассмотренных колонок возможна на основе их литофациального подразделения.



Нижние пачки колонок сложены тонкозернистыми турбидитами с признаками пульсации, широко распространенными в зоне Северо-Западного атлантического срединно-океанического глубоководного канала и характерными для его прирусловых валов. Турбидитный поток, способствовавший отложению тонкозернистых осадков на прирусловых валах канала, возник около 26 тыс. лет назад и имел непостоянную скорость.

Верхние пачки осадочных секций колонок сформировались за последние 26 тыс. лет после осаждения тонкозернистых осадков мощного турбидитного потока и представлены пелагическими осадками. Отличия мощности верхних пелагических фаций в двух колонках объясняется разными скоростями осадконакопления, что обусловлено воздействием придонных течений или результатом неравномерного поступления материала ледового разноса в разные районы Лабрадорского бассейна. Кроме того, нельзя исключать и некоторую потерю верхней части колонок при пробоотборе, что является общей проблемой при отборе гравитационными трубками [5].

Подсчет IRD и раковин полярного вида фораминифер выполнен при поддержке гранта РФФИ №№ 14-50-00095. Обобщение и интерпретация результатов литологического описания колонки, гранулометрического анализа и содержания карбоната кальция выполнены в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0012).

Список литературы

1. Баширова Л.Д., Дорохова Е.В., Сивков В.В. и др. Палеотечения в районе разлома Чарли-Гиббс в позднечетвертичное время // *Океанология*. 2017. Т. 57, №3. С. 491–502.
2. Bouma A.H. *Sedimentology of some Flysch Deposits: A Graphic Approach to Facies Interpretation*. Amsterdam, 1962.
3. Broecker W.S. Massive iceberg discharges as triggers for global climate change // *Nature*. 1994. Vol. 372. P. 421–424.
4. Heinrich H. Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years // *Quaternary Research*. 1988. Vol. 29 (2). P. 142–152.
5. Hesse R., Chough S.K., Rakofsky A. The North Atlantic Mid-Ocean Channel of the Labrador Sea. V. Sedimentology of a giant deep-sea channel // *Canadian Journal of Earth Science*. 1987. Vol. 24. P. 1595–1624.
6. Hesse R., Khodabaksh 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. Vol. 186. P. 1–11.
7. Hillaire-Marcel C., de Vernal A., Bilodeau G., Wu G. Isotope stratigraphy, sedimentation rates, deep circulation and carbonate events in the Labrador Sea during the last ~200 ka // *Can. J. Earth Sci.* 1994. Vol. 31. P. 63–89.
8. McCave I.N., Hall I.R. Size sorting in marine muds: Processes, pitfalls, and prospects for paleoflow-speed proxies // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2006. Vol. 7, №10. Q10NN05.



9. Rebesco M., Hernández-Molina J., Van Rooij D., Wahlin A. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations // *Marine Geology*. 2014. Vol. 352. P. 111–154.

10. Simstich J., Sarnthein M., Erlenkeuser H. Paired $\delta^{18}\text{O}$ signals of *Neogloboquadrina pachyderma* (s) and *Turborotalita quinqueloba* show thermal stratification structure in Nordic Seas // *Mar. Micropaleontology*. 2003. Vol. 48. P. 107–125.

11. Stoner J.S., Channell J.E.T., Hillaire-Marcel C. The magnetic signature of rapidly deposited detrital layers from the deep Labrador Sea: Relationship to North Atlantic Heinrich layers // *Paleoceanography*. 1996. Vol. 11 (3). P. 309–325.

12. Stow D.A.W., Piper D.J.W. Deep-water fine-grained sediments; history, methodology and terminology // *Fine-Grained Sediments* / D.A.W. Stow, D.J.W. Piper (eds.). Geological Society Special Publication. 1984. Vol. 15. P. 3–14.

13. Stow D.A.V., Wetzel A. Hemiturbidite: a new type of deep water sediment // *Proc. Ocean Drilling Progr., Scient. Res.* 1990. Vol. 116. P. 25–34.

52

Об авторах

Лейла Джангировна Баширова — зам. директора по научной работе, зав. лабораторией геологии Атлантики, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия.

E-mail: bas_leila@mail.ru

Евгения Валерьевна Дорохова — науч. сотр., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия.

E-mail: zhdorokhova@gmail.com

Вадим Валерьевич Сивков — канд. геол.-минерал. наук, директор Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН; доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: sivkov@kaliningrad.ru

Любовь Александровна Кулешова — инженер-исследователь, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН; магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: lubov_kuleshova@mail.ru

Екатерина Петровна Пономаренко — ст. лаборант, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН; асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: ponomarenko.katharina@gmail.com

The authors

Leyla Bashirova — Deputy Director for Science, Head of the Laboratory for Geology of the Atlantic, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: bas_leila@mail.ru

Evgenia Dorokhova — Research Scientist, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: zhdorokhova@gmail.com



Vadim V. Sivkov – Director of the Atlantic Branch of the Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nahimovskiy prospect, Moscow, Russia, 117997; Assistant Professor, I. Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo ul., Kaliningrad, Russia, 236016.

E-mail: sivkov@kaliningrad.ru

Liubov Kuleshova, Research Engineer, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, master student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.

E-mail: lubov_kuleshova@mail.ru

Ekaterina Ponomarenko, Senior Assistant, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Ph.D. student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.

E-mail: ponomarenko.katharina@gmail.com