

doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-210-216



ЭКСПЕДИЦИЯ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-41»: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

✉ Попова Е.А.^{1,2}, Богин В.А.^{1,2}, Мальшев С.А.^{1,2}, Ованесян Г.И.^{1,2}, Фильчук К.В.²,
Макаров А.С.²

¹ ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБУ «ААНИИ», Санкт-Петербург, Россия

✉ 4elenapopova@gmail.com

Представлена информация о проведении геологических работ на борту ЛСП «Северный Полюс» в рамках экспедиции «Северный Полюс-41». Работы проводились с октября 2022 года и продолжаются в конце ноября 2023 года. При помощи гравитационной трубки, бокс-корера и драг отобран материал с хребта Ломоносова, из котловины Амундсена, хребта Гаккеля, котловины Нансена. Изучено литологическое строение всех колонок, материал представлен алевропелитом, иногда с примесью песка, встречаются песчаные прослойки. Изучение вещественного состава показало, что осадки сложены терригенными компонентами, однако встречаются и карбонатные раковины. Корреляция разрезов с датированными ранее колонками по литологическим характеристикам показывает, что отобранный материал был отложен не ранее, чем МИС 6. Донно-каменный материал представлен материалом ледового разноса.

Ключевые слова: морские донные осадки, литология, донно-каменный материал, Северный Ледовитый океан, центральная Арктика, хребет Ломоносова, котловина Амундсена

Введение. Многолетний мощный морской лёд в центральной части Северного Ледовитого океана – значительное препятствие для изучения этой акватории при помощи научно-исследовательских судов. В экспедиции «Северный Полюс-41» ФГБУ «ААНИИ» на новом судне – ледовой самодвижущейся платформе «Северный Полюс» удалось провести работы на 82-88° с.ш. и отобрать материал с таких крупных структур как хребет Ломоносова, котловина Амундсена, хребет Гаккеля и котловина Нансена. Экспедиция началась в сентябре 2022 года. В конце ноября 2023 года платформа находилась к северу от архипелага Земля Франца-Иосифа близ шельфового склона, глубина воды составляла 1820 м. К 27 ноября 2023 года выполнена 151 успешная станция донного опробования (рис. 1) и 28 станций без получения материала.

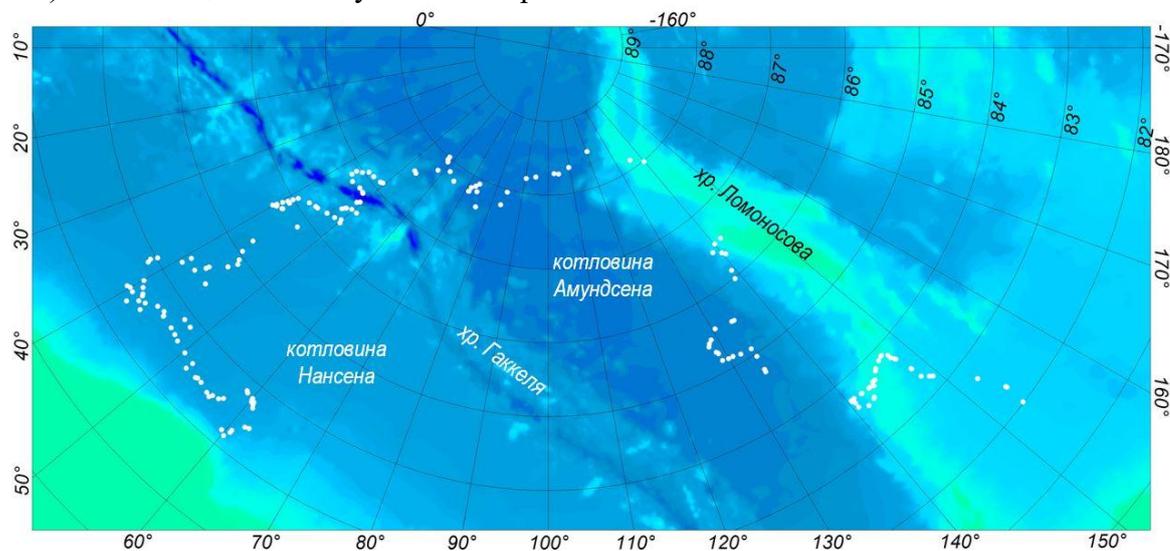


Рис. 1. Геологические станции на 6 ноября 2023 г.

Материал и методы. Материал отбирался при помощи бокс-корера (50x50x70 см), гравитационной трубки (6 м), и скальной и биологической драг; пробоотборники опускались в воду через майну за кормой (примерно 2x2 м). Предварительный вещественный состав осадков определялся на борту в смерслайдах и грубой фракции (>63 мкм). Все крупные частицы донно-каменного материала (≥ 10 мм) извлекались по литологическим слоям как в длинных колонках, так и в бокс-корерах, и были изучены отдельно на предмет размера (по трём измерениям), окатанности и состава. На борту также отбирались образцы осадков для проведения различных видов анализа в лабораториях на суше – гранулометрического, минералогического, микрофаунистического, споро-пыльцевого, палеомагнитного и других. Отбирались и пробы морского льда на предмет изучения минералогической составляющей. Также на борту определялся состав углеводородных газов в осадках, воде и льде при помощи газового хроматографа, состав поровой воды (растворённое органическое вещество) – при помощи спектрофлюориметра. Магнитная восприимчивость определялась при помощи измерителя MS2E (Bartington) во всех длинных колонках. Профиль дна записывался практически на протяжении всего дрейфа при помощи глубинного параметрического профилографа PARASOUND P70 ICE (Teledyne Marine, США).

Литологическое строение осадков. Литологическое строение варьирует достаточно сильно в зависимости от геоморфологии (рис. 2а). В южной части хр. Ломоносова (колонка 23Т) осадки сложены слоями коричневого, бежевого и оливкового и алевропелита и пелита с редкой примесью песка. Слои серо-оливкового оттенка с пористой текстурой и повышенным содержанием грубого материала и комочков осадков в колонках с вершины и восточного склона хребта отмечаются на 100-180 см, в колонках западного склона – на 250-380 см. В нижней части нескольких колонок на вершине хребта в южной части обнаружен слой насыщенно-серого алевропелита, подстилаемый зеленоватым алевропелитом с тёмными пятнами; также там замечен тонкий слой грубозернистого материала персикового цвета. Осадки в северной части хр. Ломоносова (колонка 47Т) отличаются более мощным пористым слоем, подстилаемым серым грубозернистым материалом, содержащим включения угля и обгоревшей древесины, и чередованием в нижней части слоёв оливкового массивного пелита и коричневого биотурбированного алевропелита; также здесь наблюдается тонкий прослой розоватого материала.

Первые сантиметры осадков из котловины Амундсена близ хр. Ломоносова (колонка 25Т) представлены коричневым алевропелитом, иногда с примесью песка, затем наблюдается слой со слойчатой текстурой, сходный с таковым в нижней части некоторых колонок с хр. Ломоносова, либо слои рыжеватого алевропелита и песчано-алевропелита, отличающиеся очень высокой плотностью и наличием оранжевых вкраплений (похож на захороненный окисленный слой). Ниже колонки в основном представлены чередующимися слоями светло- и тёмно-серого и оливкового пелита, при этом в оливковых слоях часто встречаются остатки агглютинированной и карбонатной микрофауны, а тонкозернистые серые слои часто перемежаются прослойками грубозернистого материала разной мощности. Этот слой примечателен наличием запаха, напоминающего запах серы, и способностью уплотняться при физическом контакте. Интересно, что состав грубой фракции (>63 мкм) данного слоя достаточно однообразен и представлен по большей части слюдами и остатками растений – компонентами, отличающимися плоской формой и низкой плотностью (рис. 3). Часто повторяющиеся циклы чередования тонкозернистых и грубозернистых слоёв в колонках из котловины Амундсена говорят о влиянии турбидитов на осадконакопление. Осадки в котловине Амундсена близ хр. Гаккеля в районе 87-88° с.ш. (колонка 63Т) отличаются наличием трёх слоёв материала розоватого оттенка, а также мощных слоёв массивного тёмно-серого пелита и слоёв с признаками биотурбации по всей длине разреза.

Предварительная возрастная модель. Для примерного определения возраста осадков была создана предварительная возрастная модель на основе корреляции колонок по литологическим границам с ранее датированной колонкой. На рис. 26 приведена корреляция трёх колонок с вершины хр. Ломоносова на разных широтах между собой и с колонкой PS2185 [Fuetterer, 1992]. Наиболее древней границей является контакт МИС 6/5, глубина которого варьирует в зависимости от широты (от 320 см на юге хребта до 250 см на севере близ полюса) вместе со скоростью осадконакопления и, возможно, эрозией в результате сильной гидродинамики. Корреляция колонки 23Т по литологическому строению и колебаниям магнитной восприимчивости с датированной колонкой PS87/079-1 [Stein, 2015; Mueller, 1999], отобранной в южной части хр. Ломоносова близ Евразийского шельфа, показывает аналогичные результаты. Наиболее мощным предстал слой, отложенный в МИС 5, что согласуется с литературными данными [Stein, 2008].

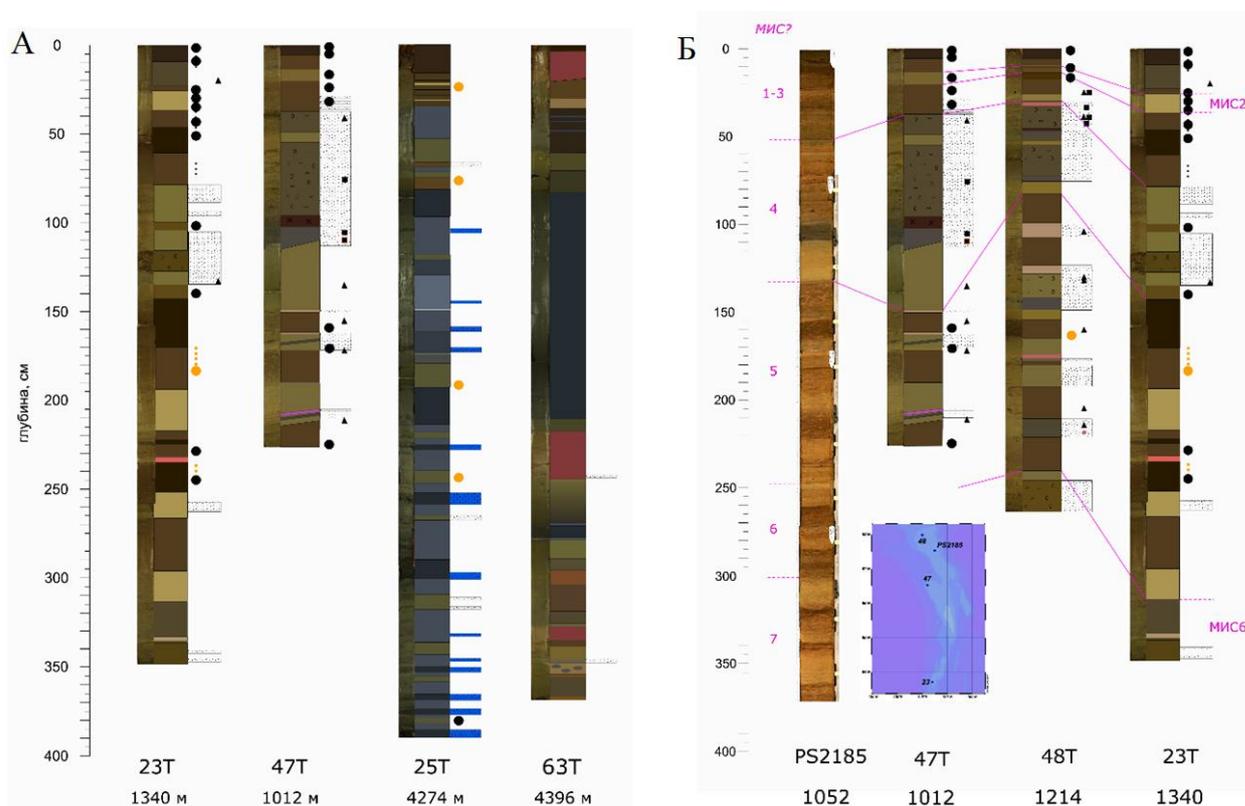


Рис. 2. Литологическое строение некоторых колонок, отобранных на разных структурах (А); корреляция колонок 47Т, 48Т и 23Т с колонкой PS2185, отобранной в экспедиции Polarstern ARK-VIII/3, 1991 [Fuetterer, 1992], границы МИС даны по модели РМ-2008 [Stein, 2008], внизу указана глубина отбора материала в м (Б); чёрными кругами обозначены места нахождения карбонатных фораминифер и кокколитофорид в смерслайдах, оранжевыми кругами – агглютинированных микрофоссилий в смерслайдах, соответствующим пунктиром – интервалы проб, в грубой фракции которых (>63 мкм) найдены карбонатные и агглютинированные фораминиферы (в колонке 63Т не проводилось изучение состава), чёрными треугольниками – обломки размером примерно 0.5 см и более, чёрными квадратами – уголь, прямоугольниками с точками – слои с повышенным содержанием песка или алеврита.

Вещественный состав. В грубой фракции материала с хр. Ломоносова преобладают светлые минералы (кварц, полевые шпаты), также материал сложен тёмными минералами, слюдами, обломками пород, углём (более активно представленным в северном районе), оранжевыми агрегатами, аутигенными образованиями - чёрными стяжениями, возможно, сульфидными, и железо-марганцевыми корками и конкрециями (ЖМК), а также биогенными компонентами – фораминиферами в карбонатном и агглютинированном виде и другими менее активно представленными органическими частицами типа игл морских

ежей и раковин двустворчатых моллюсков. Колонки из котловины Амундсена по большей части состоят из тех же компонентов, однако содержания сильно разнятся, а амплитуда колебаний здесь часто выше. Так, наиболее заметно увеличение содержания железомарганцевых корок, содержание слюд также выросло на порядок и достигает здесь 60-80% в отдельных слоях. Интересно также обилие растительных остатков, не замеченных в осадках с хребта.

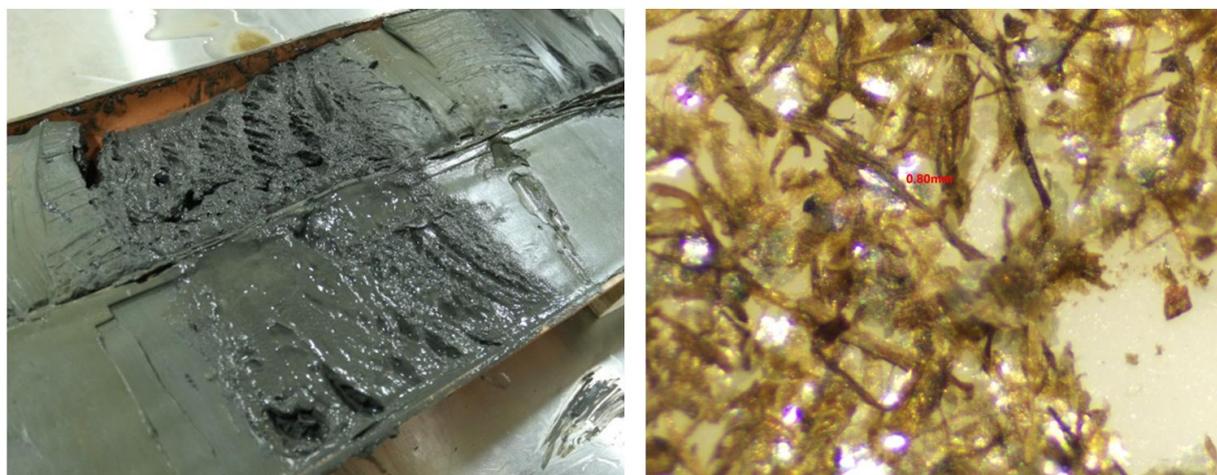


Рис. 3. «Странный» слой в колонках из котловины Амундсена: фото колонки (слева), грубая фракция (>63 мкм) под бинокляром (справа).

Есть и места, примечательные составом грубой фракции: например, в колонке 49Т на хр. Ломоносова (88° с.ш.) обнаружено множество остатков микрофауны, в основном, карбонатной - фораминиферы, мшанки, полихеты, ближе к поверхности – ракообразные (рис. 4).

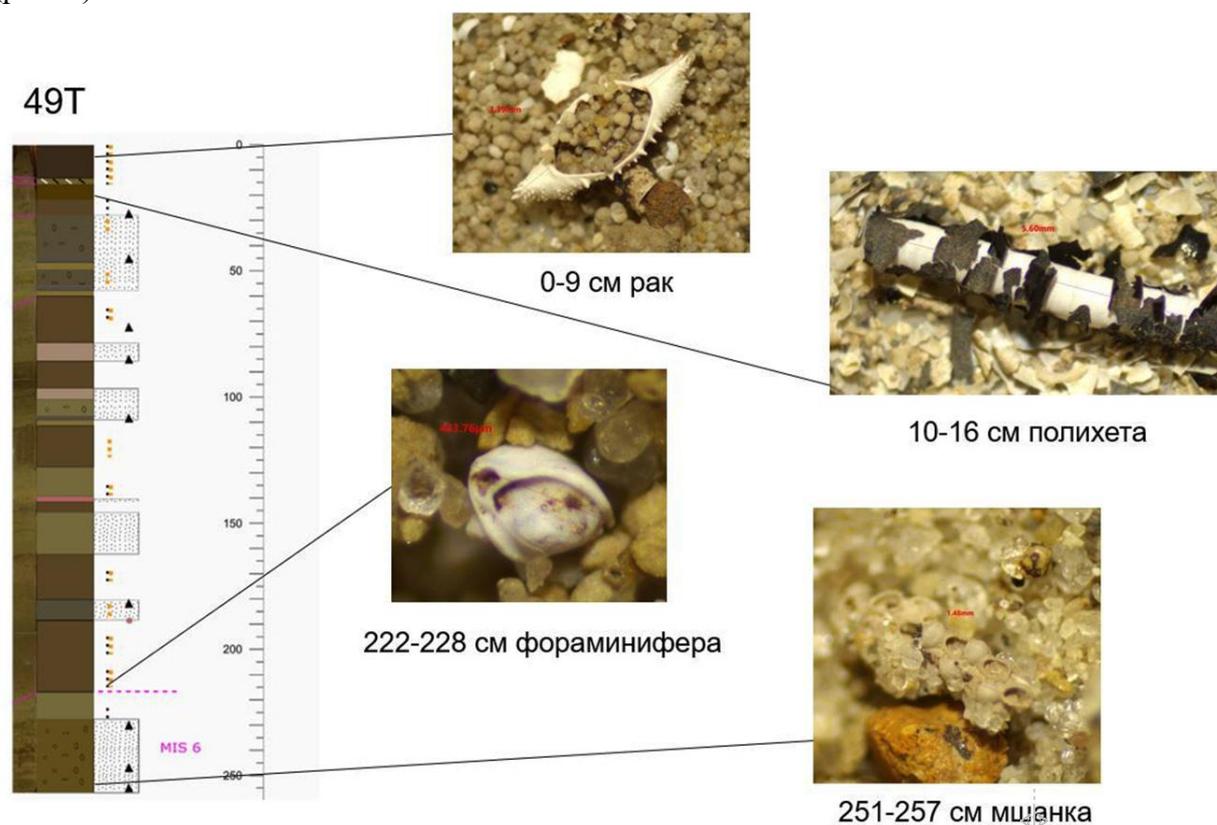


Рис. 4. Литологическое строение колонки 49Т и фотографии некоторых находок микрофауны (определения О. Зиминой).

Донно-каменный материал. Большое количество материала с южной части хр. Ломоносова позволило провести качественное и количественное изучение ДКМ в 13 коротких колонках по профилю поперёк хребта. Обломки (164 штуки) распределены неравномерно вдоль профиля. На восточном склоне и вершине хребта, наблюдается стабильно высокое содержание ДКМ (до 45 псефитов/м³), в то время как на западном склоне встречаемость не превышает 3 псефитов/м³. Размер здесь не превышает 6 см. Качественный состав частиц разнообразен: карбонатные породы (доломит и известняк) составляют 32% материала, магматические, наиболее широко представленные средними и основными – 24%, обломки осадочных терригенных пород, таких как песчаник, алевролит и аргиллит, составляют 23%, метаморфических (в частности, кристаллического сланца кварцита, филлита) несколько меньше – 18%, а содержание аутигенных железомарганцевых образований достигает 3%. Подобный же состав ДКМ в осадках Северного Ледовитого океана отмечен в исследованиях [Phillips and Grantz, 2001; Крылов и др., 2018, 2020], за исключением более низкого содержания магматически пород в исследованиях авторов.

Аналитические измерения углеводородных газов C1-C5 в донных осадках. Полученные данные указывают на низкие значения концентрации метана в газовой фазе донных осадков, которые изменяются в интервале от 4.6 до 118.8 ppb при среднем значении 19.4 ppb и коэффициенте вариации 89,2%. Сумма гомологов метана также как и метан характеризуется низкими значениями и изменяется в интервале от 0 до 96 ppb при среднем значении 19.9 ppb и коэффициенте вариации 96.8%. Отмечено, что в некоторых пробах содержание суммы гомологов превышает концентрацию метана. Значение отношения метана к сумме его гомологов для всех проб больше 1 и изменяется в интервале от 10.5 до 89.9 при среднем значении 52.1 и коэффициенте вариации 40.4%. В целом полученные данные по распределению метана и суммы его гомологов в донных осадках по траектории дрейфа подчиняются нормальному закону распределения и согласно М. Abrams [Abrams, 2005] отражают природную изменчивость, связанную с процессами альтерации и фракционирования.

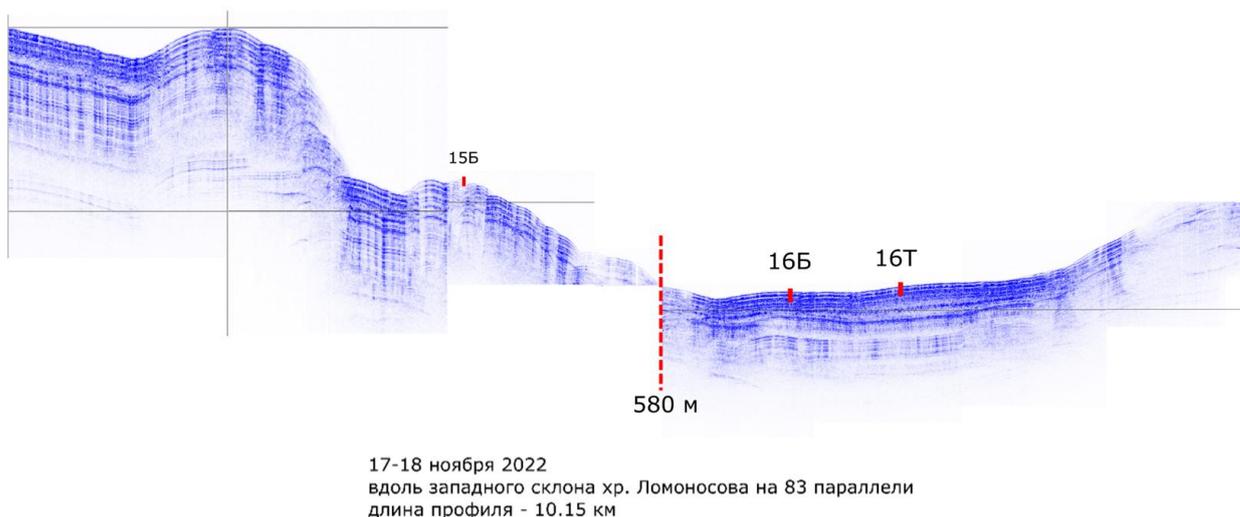


Рис. 5. Пример профиля на хр. Ломоносова, на котором отображены места отбора материала.

Донное профилирование. Данные профиля дна записываются с 4 октября 2022 г. За время дрейфа отмечены и описаны разнообразные структуры как в котловинах, так и на хребте. В котловине Амундсена, помимо плоских параллельных рефлекторов, означающих гемипелагический режим осадконакопления, встретились сигмоидальные структуры, соответствующие контуритам или турбидитам. На склонах хребта отмечены многочисленные свидетельства склоновых процессов (рис. 5) в виде хаотичных линз -

оползневых тел, несогласий, холмиков - «hummocks»; на плоской вершине хребта, помимо мощных слоёв ровных гемипелагических осадков, в районе 86° ш. на протяжении как минимум 30 км встречались эрозионные структуры с толстым хаотичным слоем - диамиктоном, покрытым тонким слоем современных осадков.

Заключение. В экспедиции отобрано большое количество нового материала из центральной части Северного Ледовитого океана. Строение и состав осадков изучались на борту в разных аспектах: литологическом, геохимическом, геофизическом; предстоит и более детальный анализ в камеральных условиях. Полученные данные будут полезны при уточнении характера и интенсивности изменений обстановки в прошлом.

ЛИТЕРАТУРА

Крылов А.А., Гусев Е.А., Миролюбова Е.С., Черных А.А. Геологическое и палеоокеанологическое значение псефитового материала из меловых-кайнозойских отложений приполюсной части хребта Ломоносова // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64 (2). С. 182-199. doi: 10.20758/0555-2648-2018-64-2-182-199

Крылов А.А., Малышев С.А., Богин В.А., Захаров В.Ю., Гусев Е.А., Макаров А.С. Особенности распределения псефитового материала в верхнечетвертичных отложениях северной части Баренцева моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66. № 3. С. 381–395. doi: 10.30758/0555-2648-2020-66-3-381-395

Abrams M.A. Significance of hydrocarbon seepage relative to petroleum generation and entrapment // *Marine and Petroleum Geology*. 2005. Vol. 22. Is. 4. P. 457-477. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2004.08.003

Fuetterer D.K. (Ed.). ARCTIC'91: The expedition ARK-VIII/3 of RV "Polarstern" in 1991 // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 1992. Vol. 107, 267 p.

Mueller C. Rekonstruktion der Palaeo-Umweltbedingungen am Laptev-See-Kontinentalrand waehrend der beiden letzten Glazial-/Interglazial-Zyklen anhand sedimentologischer und mineralogischer Untersuchungen // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 1999. Vol. 328. 146 p.

Phillips R.L., Grantz A. Regional variations in provenance and abundance of ice-rafted clasts in Arctic Ocean sediments: implications for the configuration of late Quaternary oceanic and atmospheric circulation in the Arctic // *Marine Geology*. 2001. Vol. 172. Is. 1-2. P. 91–115. doi: 10.1016/S0025-3227(00)00101-8

Stein R. (Ed). The Expedition PS87 of the Research Vessel Polarstern to the Arctic Ocean in 2014 // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 2015. Vol. 688. 273 p.

Stein R. Arctic Ocean Sediments: Processes, Proxies, and Paleoenvironment. Oxford, Elsevier, 2008. 602 p.

THE 'SEVERNYPOLUS-41' ('NORTH POLE-41') EXPEDITION: MARINE GEOLOGY ONBOARD

Popova E.A.^{1,2}, Bogin V.A.^{1,2}, Malyshev S.A.^{1,2}, Ovanesyan G.I.^{1,2}, Filchuk K.V.², Makarov A.S.²

¹VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

²Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

The information about geological work onboard the ice-drifting platform 'Severnypolus' during 'Severnypolus-41' ('North Pole-41') expedition is presented. The work has started in October 2022 and still continues in November 2023. The material has been gathered in Lomonosov Ridge, Amundsen basin, Gakkel Ridge, Nansen Basin using a gravity corer, a giant box corer, and dredges. Lithological composition of all cores has been studied, the sediments consist of silty clay and clayey silt, sometimes with sand, and sandy layers are present as well. Material composition studies have showed domination of terrigenous material, yet carbonate shells were met. Correlation of the cores with the previously dated ones based on lithological characteristics has demonstrated

that the material had been deposited no later than MIS 6. Large rock debris were considered to be ice-rafted.

Keywords: *marine sediments, lithology, IRD, the Arctic Ocean, Central Arctic, Lomonosov Ridge, Amundsen Basin*

REFERENCES

Krylov A.A., Gusev E.A., Mirolubova E.S., Chernykh A.A. Geological and paleoceanological significance of psephite from the cretaceous-cenozoic deposits from the near-pole part of the Lomonosov ridge // *Arctic and Antarctic Research*. 2018. N. 64(2). P. 182-199. (In Russ.) doi:10.30758/0555-2648-2018-64-2-182-199

Krylov A.A., Malyshev S.A., Bogin V.A., Zakharov V.Yu., Gusev E.A., Makarov A.S. Features of the coarse clasts (psephites) distribution in the Upper Quaternary sediments of the northern Barents Sea // *Arctic and Antarctic Research*. 2020. N. 66(3). P. 381-395. (In Russ.) doi:10.30758/0555-2648-2020-66-3-381-395

Abrams M.A. Significance of hydrocarbon seepage relative to petroleum generation and entrapment // *Marine and Petroleum Geology*. 2005. Vol. 22. Is. 4. P. 457-477. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2004.08.003

Fuetterer D.K. (Ed.). ARCTIC'91: The expedition ARK-VIII/3 of RV "Polarstern" in 1991 // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 1992. Vol. 107, 267 p.

Mueller C. Rekonstruktion der Palaeo-Umweltbedingungen am Laptev-See-Kontinentalrand waehrend der beiden letzten Glazial-/Interglazial-Zyklen anhand sedimentologischer und mineralogischer Untersuchungen // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 1999. Vol. 328. 146 p.

Phillips R.L., Grantz A. Regional variations in provenance and abundance of ice-rafted clasts in Arctic Ocean sediments: implications for the configuration of late Quaternary oceanic and atmospheric circulation in the Arctic // *Marine Geology*. 2001. Vol. 172. Is. 1-2. P. 91-115. doi: 10.1016/S0025-3227(00)00101-8

Stein R. (Ed). The Expedition PS87 of the Research Vessel Polarstern to the Arctic Ocean in 2014 // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 2015. Vol. 688. 273 p.

Stein R. Arctic Ocean Sediments: Processes, Proxies, and Paleoenvironment. Oxford, Elsevier, 2008. 602 p.