

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-444-449



## ПЕРВЫЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ МОРСКИХ ОСАДКОВ, ОТОБРАННЫХ В КОТЛОВИНЕ АМУНДСЕНА, СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-41»

✉ Элькина Д.В.<sup>1</sup>, Пискарев А.Л.<sup>1,2</sup>, Хоснуллина Т.И.<sup>1,2</sup>, Гусев Е.А.<sup>1</sup>, Попова Е.А.<sup>1,3</sup>, Богин В.А.<sup>1,3</sup>, Малышев С.А.<sup>1,3</sup>, Фильчук К.В.<sup>3</sup>, Макаров А.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> ФГБУ «ААНИИ», Санкт-Петербург, Россия

✉ [darielfly@gmail.com](mailto:darielfly@gmail.com)

В работе приводятся результаты палеомагнитных исследований колонки донных осадков длиной более 4 м, отобранной грунтовой трубкой в котловине Амундсена, в экспедиции «Северный полюс-41» в ходе дрейфа ледовой самодвижущейся платформы «Северный полюс». Эти исследования являются одними из немногих палеомагнитных исследований в Евразийском бассейне и практически одними из единственных — в котловине Амундсена. Положительные наклонения вместе с короткими интервалами отрицательных наклонений рассчитанной характеристической компонента намагниченности, подкреплённые низкими значениями максимального углового отклонения, могут быть в дальнейшем использованы для построения магнитостратиграфии и вычисления средних скоростей осадконакопления в районе.

Ключевые слова: *донные морские осадки, Северный Ледовитый океан, котловина Амундсена, палеомагнитные исследования, Евразийский бассейн*

**Введение.** Определение возраста донных морских осадков в Северном Ледовитом океане является нетривиальной задачей, усложняемой бедностью осадка биологическим материалом и применимостью радиоуглеродного метода только в пределах верхней части разреза, что в совокупности с неоднозначной интерпретацией палеомагнитных данных приводит к публикациям возрастных моделей, противоречащих друг другу.

При этом если для Американо-Северного Ледовитого океана количество опробованных колонок стремится к нескольким сотням, для Евразийского бассейна они все ещё остаются единичными. Для колонок из Евразийского бассейна в основном применялись биостратиграфические методы [Matthiessen et al, 2001; Gard, 1993], в том числе позволявшие датировать исследуемый материал только в пределах Голоцена - раннего Плейстоцена при помощи радиоуглеродного метода. Кроме того, в котловине Амундсена, разделяющей хребты Гаккеля и Ломоносова, обнаружен сильно обедненный комплекс бентосных фораминифер, говорящий о том, что среда была неблагоприятной для агглютинирующих фораминифер [Evans et al., 1995]

В данной работе рассматриваются результаты палеомагнитных исследований колонки донных осадков, длиной более 4 м, отобранной в котловине Амундсена, которые смогут лечь в основу дальнейших стратиграфических исследований в Евразийском бассейне и поспособствуют определению возраста, залегающих в нём осадках.

**Материалы и методы.** Колонка СП41-40т длиной 4,42 м была отобрана при помощи гравитационной трубки в котловине Амундсена (координаты станции отбора 85.53653°с.ш., 134. 10178°в.д) на глубине 4282 м в экспедиции «Северный полюс-41» в ходе дрейфа ледовой самодвижущейся платформы «Северный полюс» (рис. 1) (например, [Попова и др., 2023; Popova et al., 2024]).

Магнитная восприимчивость измерялась каппаметром MS2E1, Bartington по ненарушенной поверхности колонки на борту с интервалом 2,5 см. Там же из колонки были отобраны образцы u-channel: 4 образца длиной около 1 м, 1 образец - 28 см.

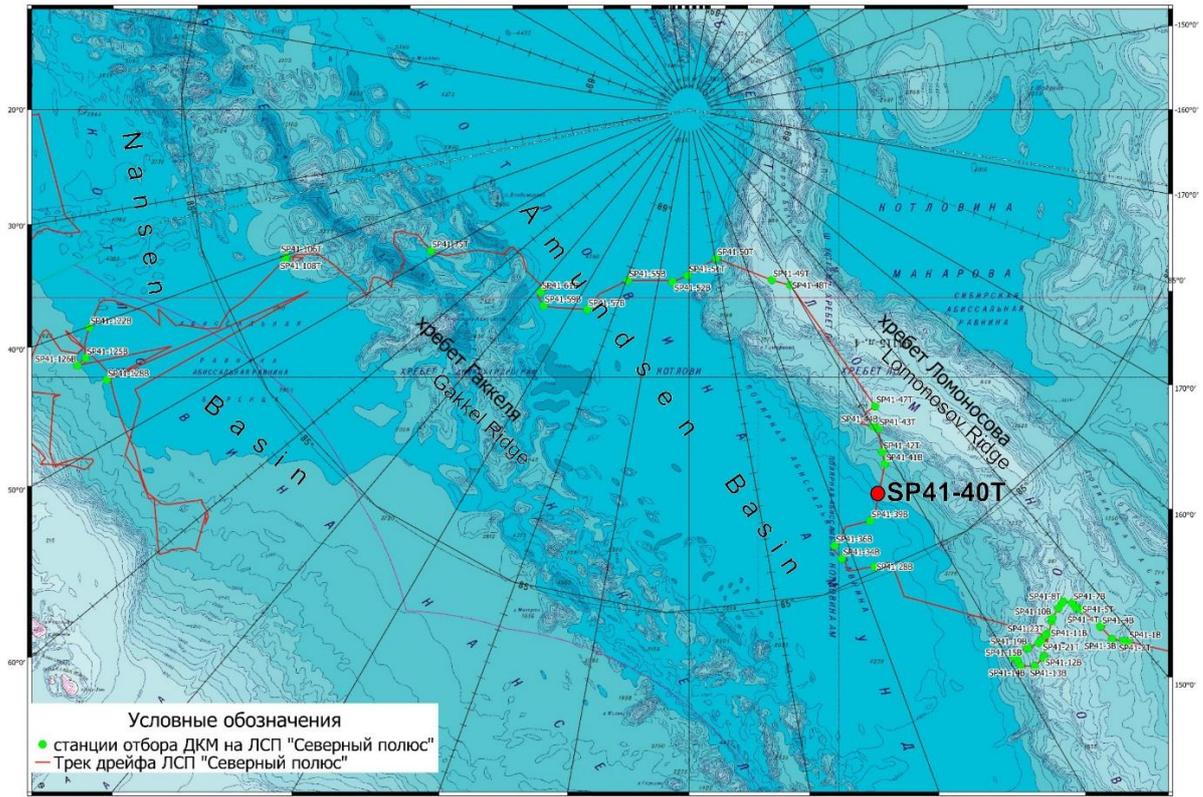


Рис. 1. Карта дрейфа «Северный полюс-41» ледовой самодвижущейся платформы «Северный полюс». Красным кружком обозначена станция пробоотбора колонки донных осадков СП41-40Т.

Палеомагнитные измерения проводились в лаборатории ресурсного центра «Геомодель» Санкт-Петербургского государственного университета с интервалом 1 см в рамках Государственного задания № 049-00004-24-00 от 29.12.2023. Измерения включали в себя измерения естественной остаточной намагниченности (*NRM*) с последующим ступенчатым размагничиванием переменным полем (*AF*) с количеством шагов от 14 до 17 при максимальном пиковом поле в 100 мТл на магнитометре SQUID, 2G Enterprises.

По результатам размагничивания методом компонентного анализа (*principal component analysis*, далее *PCA*) [Kirschvink, 1980] рассчитывалась характеристическая компонента остаточной намагниченности (*Characteristic Remanent Magnetization*, далее *ChRM*) с максимальным угловым отклонением (*Maximum Angular Deviation*, далее *MAD*) в программном обеспечении [Lurcock, Wilson, 2012]. Максимальное угловое отклонение является критерием точности рассчитанной *ChRM* и может быть использовано для оценки надёжности полученных значений.

Типичные для некоторых интервалов глубин диаграммы ступенчатого размагничивания переменным полем и/или температурой вектора намагниченности приводятся на рис. 2 в виде ортогональных диаграмм Зийдервельда, на которых отображаются в том числе шаги размагничивания, по которым вычислялась наклонения *ChRM*.

Для каждой точки измерений был выбран подходящий интервал последовательности шагов размагничивания переменным полем для наиболее надёжного представления *ChRM*. Интервал выбирался исходя из совокупного анализа расположения вектора намагниченности на равноплощадной стереографической проекции и диаграмме Зийдервельда с учётом значений медианного разрушающего поля и общего вида разрушения величины намагниченности. Шаги от 20 до 70 мТл в основном были использованы для расчетов *ChRM*. В интервале малых полей до 10-20 мТл, скорее всего, удалялась вязкая остаточную намагниченность, наведённая современным полем; она

отражена изгибом кривой на диаграмме Зийдервелда. Результаты магнитной чистки в переменном поле в интервале 90–100 мТл рассматривались как, вероятно, наводящие вторичную намагниченность поверх остаточной и, таким образом, как недостаточно надёжные, особенно если значение медианного разрушающего поля было невысоким. При высоком разбросе направлений выбиралось меньшее количество шагов; число шагов размагничивания, использованных для расчета *ChRM*.

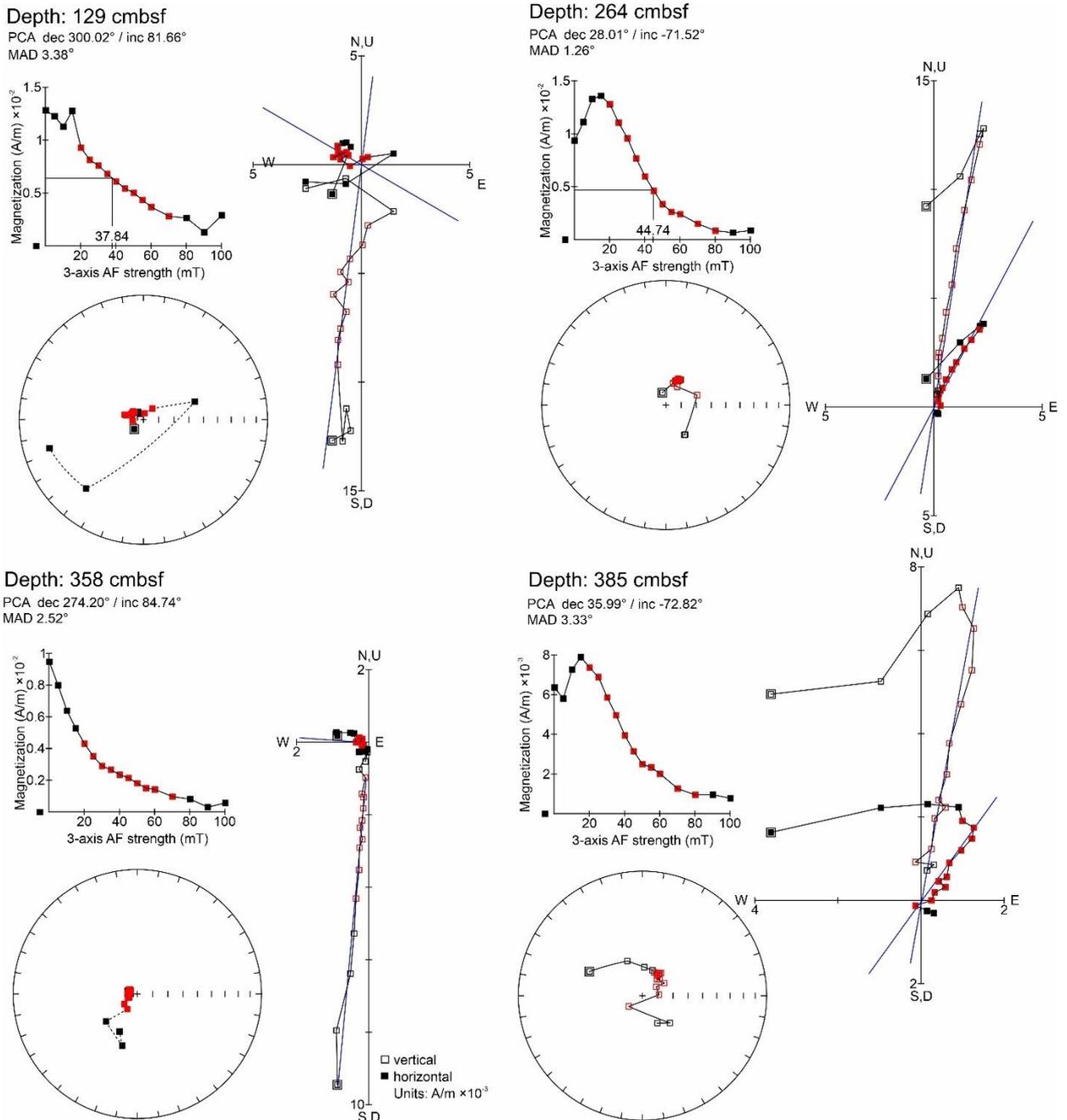


Рис. 2. Типовые ортогональные диаграммы ступенчатого размагничивания переменным полем для колонки СП41-40Т.

Залитые и полые квадраты – проекции на горизонтальную и вертикальную плоскости, соответственно, двойным квадратом обозначено измерение *NRM*, красным обозначены шаги для расчета *ChRM*.

**Результаты и обсуждение.** По полученным данным были построены кривые изменения наклона *ChRM* со значениями *MAD*, величины естественной остаточной намагниченности (*NRM*) с глубиной, медианного разрушающего поля (*MDF*) и магнитной восприимчивости (рис. 3).

Наклоны ChRM преимущественно положительные по всей колонке; при этом на глубинах около 1,6 м, 2,6 м и 3,6 м отмечаются высокие отрицательные наклоны. Значения MAD в основном меньше 10 или даже в рамках 5°, что говорит о надежности рассчитанных направлений ChRM. Пики величины NRM совпадают с пиками магнитной восприимчивости на глубинах около 1 м и 3,15 м. Значения MDF в среднем составляют 30 мТл, при этом варьирует на протяжении всей колонки.

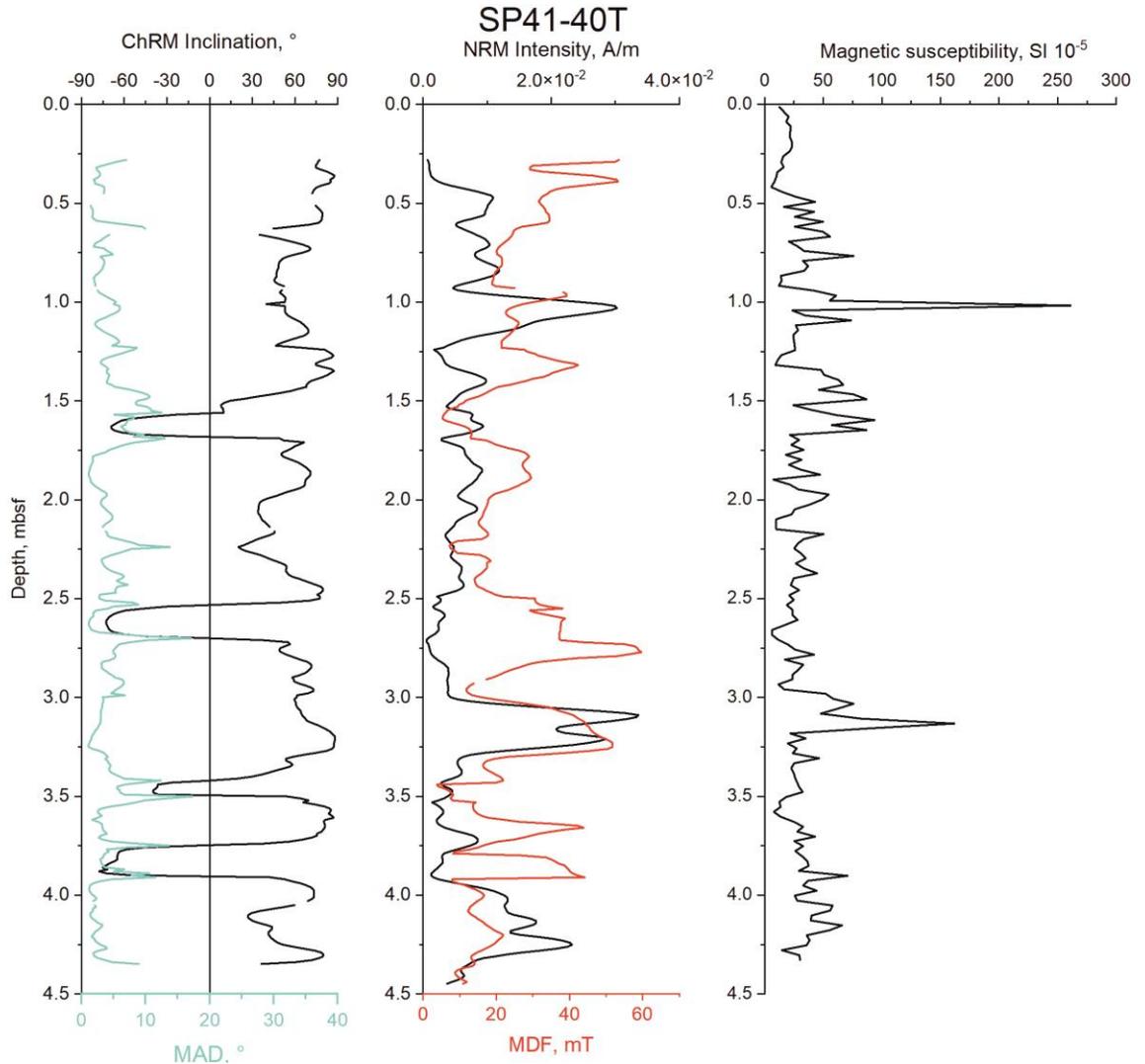


Рис. 3 Результаты палеомагнитных исследований колонки донных осадков СП41-40Т Слева направо: Наклонение характеристической остаточной намагниченности (ChRM) со максимальным угловым отклонением (MAD), величина естественной остаточной намагниченности с медианным разрушающим полем (MAD) и магнитная восприимчивость.

Количество отрицательно намагниченных интервалов не превышает 10-15%. Они хорошо определяются при размагничивании (см. рис 2, глубины 264 и 284 см), но уходят обратно в высокие значения положительных наклонов в пределах 10-20 см (см. рис. 2, глубина 358 см). Такая картина скорее предполагает, что осадки могли зафиксировать непродолжительные события изменения полярности геомагнитного поля, такие как экскурсы в хроне Брюнес. Предварительно, можно предположить, в том числе основываясь на накопленных знаниях по палеомагнитным характеристикам Северного Ледовитого океана [например, *Elkina et al., 2023*], что колонка и вскрыла только хрон Брюнес. Таким образом, средняя скорость осадконакопления для этой станции будет составлять не менее 5,6 мм/тыс. лет.

**Выводы.** Результаты палеомагнитных исследований колонки донных осадков, являясь одними из немногих для Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана и, вероятно, единственными для котловины Амундсена, показали хорошее качество палеомагнитной записи. Наблюдаемые интервалы отрицательных наклонов в преимущественно положительных могут использоваться в дальнейшем для построения магнитостратиграфии и возрастных моделей для региона.

**Благодарности.** Авторы хотели бы выразить благодарность начальнику отдела морской сейсморазведки ФГБУ «ВНИИОкеангеология» Олегу Евгеньевичу Смирнову за всестороннюю поддержку исследований колонку донных осадков.

## ЛИТЕРАТУРА

Попова Е.А., Богин В.А., Малышев С.А., Ованесян Г.И., Фильчук К.В., Макаров А.С. Экспедиция «Северный Полюс-41»: предварительные результаты геологических исследований // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2023. Выпуск 10, с. 210-216. doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-210-216

Matthiessen J., Knies J., Nowaczyk N.R., Stein R. Late Quaternary dinoflagellate cyst stratigraphy at the Eurasian continental margin, Arctic Ocean: indications for Atlantic water inflow in the past 150,000 years // Global and Planetary Change. 2001. Vol. 31. №. 1-4. P. 65-86. doi: 10.1016/S0921-8181(01)00113-8

Gard G. Late Quaternary coccoliths at the North Pole: Evidence of ice-free conditions and rapid sedimentation in the central Arctic Ocean // Geology. 1993. Vol. 21. №. 3. P. 227-230. doi: 10.1130/0091-7613(1993)021<0227:LQCATN>2.3.CO;2

Evans J.R., Kaminski M.A., Cronin T.M., Fütterer D.K. Pleistocene agglutinated foraminifera from the Lomonosov Ridge and Amundsen Basin, Arctic Basin. Initial report on piston cores 2177-5 (KAL) and 2176-3 (KAL) // Marine Micropaleontology. 1995. Vol. 26. № 1-4. P. 245-253. doi: 10.1016/0377-8398(95)00016-X

Popova E.A., Bogin V.A., Malyshev S.A., Filchuk K.V., Makarov A.S., Kaminsky V.D. Content and Composition of Rock Debris at Lomonosov Ridge (83° N): Indication of Palaeoenvironmental Changes // Doklady Earth Sciences. 2024. Vol. 517. P. 1281-1287. doi: 10.1134/S1028334X24602074

Kirschvink J.L. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data // Geophysical Journal International. 1980. Vol. 62. Is. 3. P. 699-718. doi: 10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x

Lurcock P.C., Wilson G.S. PuffinPlot: A versatile, user-friendly program for paleomagnetic analysis // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2012. Vol. 13. №. 6. doi: 10.1029/2012GC004098

Elkina D.V., Piskarev A.L., Bezumov D.V. Sedimentation in the Central Arctic Submarine Elevations: Results of Comprehensive Analysis of Paleomagnetic and Seismoacoustic Data // Geotectonics. 2023. Vol. 57. Suppl 1. P. S100-S111. doi: 10.1134/S0016852123070063

## FIRST PALEOMAGNETIC RESULTS ON MARINE SEDIMENTS COLLECTED IN THE AMUNDSEN BASIN, ARCTIC OCEAN. RESULTS OF EXPEDITION NORTH POLE-41

Elkina D.V.<sup>1</sup>, Piskarev A.L.<sup>1,2</sup>, Khosnullina T.I.<sup>1,2</sup>, Gusev E.A.<sup>1</sup>, Popova E.A.<sup>1,3</sup>, Bogin V.A.<sup>1,3</sup>, Malyshev S.A.<sup>1,3</sup>, Filchuk K.V.<sup>3</sup>, Makarov A.S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

The paper presents the paleomagnetic results on a sediment core of more than 4-m length, recovered by a gravity corer in the Amundsen Basin, during the Severnyi Polyus 41 expedition. These

studies are one of the few paleomagnetic studies in the Eurasian Basin and practically one of the only in the Amundsen Basin. High positive inclinations together with several short intervals of well-defined negative inclinations of the calculated characteristic magnetization component, supported by low maximum angular deviation, can be further used to construct magnetostratigraphy and calculate average sedimentation rates in the area.

Keywords: *sediment cores, Arctic Ocean, Amundsen Basin, paleomagnetic studies, Eurasian Basin*

#### REFERENCES:

*Popova E.A., Bogin V.A., Malyshev S.A., Ovanesyan G.I., Filchuk K.V., Makarov A.S.* The ‘Severnny Polus-41’ (‘North Pole-41’) expedition: marine geology onboard // Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia. 2023. Issue 10. P. 210-216. doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-210-216

*Matthiessen J., Knies J., Nowaczyk N.R., Stein R.* Late Quaternary dinoflagellate cyst stratigraphy at the Eurasian continental margin, Arctic Ocean: indications for Atlantic water inflow in the past 150,000 years // Global and Planetary Change. 2001. Vol. 31. №. 1-4. P. 65-86. doi: 10.1016/S0921-8181(01)00113-8

*Gard G.* Late Quaternary coccoliths at the North Pole: Evidence of ice-free conditions and rapid sedimentation in the central Arctic Ocean // Geology. 1993. Vol. 21. №. 3. P. 227-230. doi: 10.1130/0091-7613(1993)021<0227:LQCATN>2.3.CO;2

*Evans J.R., Kaminski M.A., Cronin T.M., Fütterer D.K.* Pleistocene agglutinated foraminifera from the Lomonosov Ridge and Amundsen Basin, Arctic Basin. Initial report on piston cores 2177-5 (KAL) and 2176-3 (KAL) // Marine Micropaleontology. 1995. Vol. 26. № 1-4. P. 245-253. doi: 10.1016/0377-8398(95)00016-X

*Popova E.A., Bogin V.A., Malyshev S.A., Filchuk K.V., Makarov A.S., Kaminsky V.D.* Content and Composition of Rock Debris at Lomonosov Ridge (83° N): Indication of Palaeoenvironmental Changes // Doklady Earth Sciences. 2024. Vol. 517. P. 1281-1287. doi: 10.1134/S1028334X24602074

*Kirschvink J.L.* The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data // Geophysical Journal International. 1980. Vol. 62. Is. 3. P. 699-718. doi: 10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x

*Lurcock P.C., Wilson G.S.* PuffinPlot: A versatile, user-friendly program for paleomagnetic analysis // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2012. Vol. 13. №. 6. doi: 10.1029/2012GC004098

*Elkina D.V., Piskarev A.L., Bezumov D.V.* Sedimentation in the Central Arctic Submarine Elevations: Results of Comprehensive Analysis of Paleomagnetic and Seismoacoustic Data // Geotectonics. 2023. Vol. 57. Suppl 1. P. S100-S111. doi: 10.1134/S0016852123070063