



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИЙ 2024, 2025 ГОДОВ В БЕРИНГОВОМ МОРЕ

✉ Кузнецов Е.А.¹, Хоснуллина Т.И.^{1,2}, Бочкарев А.В.², Яржембовский Я.Д.², Богин В.А.²

¹СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУ «ВНИИОкеанология», Санкт-Петербург, Россия

✉ egor.kuz05@bk.ru

Проведение морских геологосъёмочных работ в районах Командорских островов и шельфа Берингова моря силами ФГБУ «ВНИИОкеангеология» позволило получить новые данные о геологическом строении морского дна российского континентального шельфа. В работе основное внимание удалено палеомагнитным и петромагнитным исследованиям колонок донных отложений Берингова моря, направленным на уточнение условий осадконакопления и возраста осадков в верхней части осадочного чехла. Полученные данные ступенчатого размагничивания переменным полем и кривые магнитной восприимчивости используются для предварительной оценки длительности формирования разреза и интерпретации смены условий седиментации. Результаты палеомагнитных исследований служат основой для уточнения истории четвертичного осадконакопления в акватории Берингова моря, что важно при геологическом картографировании региона. Экспедиция выполнена в рамках государственного задания ФГБУ «ВНИИОкеангеология» по созданию Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 российского континентального шельфа.

Ключевые слова: *донные осадки, палеомагнитные исследования, возраст осадков, магнитная восприимчивость, Берингово море*

Введение. Акватории российского арктического и дальневосточного шельфа обладают значительным ресурсным потенциалом, что обуславливает необходимость их комплексного геологического изучения. Создание Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 является важнейшей задачей, обеспечивающей формирование единой информационной основы для недропользования. В 2024 и 2025 годах силами ФГБУ «ВНИИОкеангеология» были проведены экспедиционные работы в рамках «Программы Государственного геологического картографирования территории и континентального шельфа Российской Федерации» на двух ключевых участках: в районе Командорских островов (лист N-58) и на шельфе Берингова моря (лист P-1).

Район работ у Командорских островов включает глубоководное поднятие Обручева (глубины 3100-3300 м), шельф Командорских островов (76-870 м) и Камчатский шельф (1100-1500 м). Район работ в Беринговом море расположен к востоку от Корякского нагорья и охватывает континентальный шельф с глубинами 70-230 м и континентальный склон до 1200 м. Основными методами исследований стали непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП) и донный пробоотбор, дополненные комплексом лабораторных анализов. В работе представлены предварительные результаты палеомагнитных исследований донных осадков по колонкам, отобранным в Беринговом море.

Ранее палеомагнитные исследования в акватории Берингова моря выполнялись преимущественно по глубоководным колонкам IODP Expedition 323, что позволило получить достоверные записи вариаций геомагнитного поля и уточнённую стратиграфию для центральной части бассейна [Takahashi *et al.*, 2011]. При этом для российского сектора континентального шельфа Берингова моря палеомагнитные данные практически отсутствуют. Представляемые результаты по колонкам экспедиции 2024 года (ПМК-2420Т, ПМК-2401Т, ПМК-2410Т) и 2025 года (ПМБ-2527Т) относятся к новому комплексу палеомагнитных и петромагнитных исследований, выполненных в российской части шельфа (рис. 1).

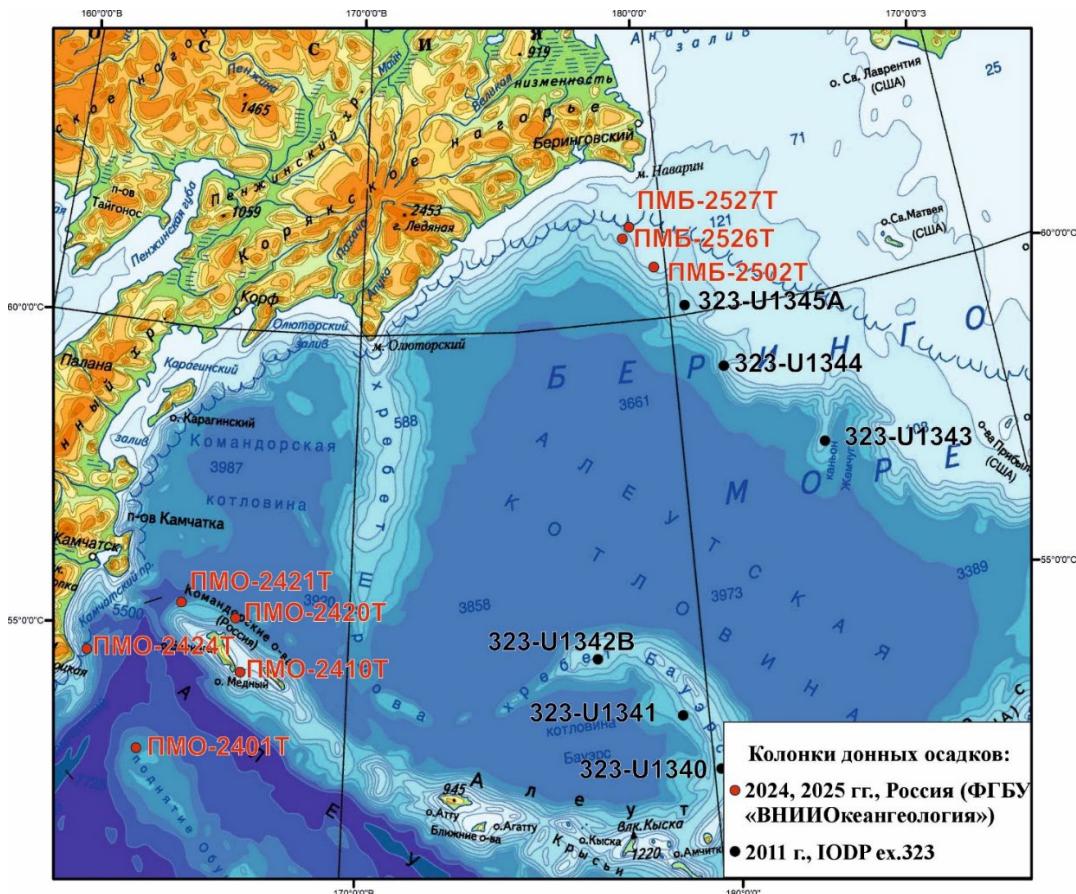


Рис. 1. Схема расположения колонок донного опробования экспедиций разных лет. Источник основы карты geographyofrussia.com.

Материалы и методика. Донный пробоотбор выполнялся на 56 станциях (26 в 2024 г. и 30 в 2025 г.) с применением бокс-корера и прямоточной гравитационной трубы длиной 4.5 м. Бокс-корер использовался для отбора ненарушенных поверхностных проб осадков, а грунтовая трубка – для получения колонок донных осадков длиной до 235 см (Табл. 1).

Табл. 1. Станции отбора колонок донных осадков.

Название станции	Координаты		Глубина моря, м	Длина колонок, м
	с.ш.	в.д.		
ПМК-2401Т	53°06.4940'	164°05.0449'	3100	1.02
ПМК-2410Т	54°27.4872'	166°45.9005'	835	1.69
ПМК-2420Т	55°19.5886'	166°32.1280'	590	2.13
ПМК-2421Т	55°31.3868'	164°58.0090'	250	0.45
ПМК-2424Т	54°36.8135'	162°26.9678'	1450	0.38
ПМБ-2502Т	60°49.680'	179°42.479'	230	0*
ПМБ-2526Т	61°20.347'	178°46.409'	203	0.59
ПМБ-2527Т	61°30.757'	179°03.122'	157	2.35

* трубка поднята пустой

Для колонок ПМК-2401Т, ПМК-2410Т, ПМК-2420Т и ПМБ-2527Т выполнены измерения магнитной восприимчивости с использованием портативного измерителя магнитной восприимчивости (ПИМВ) производства «Geodevice». Дополнительно из колонки ПМБ-2527Т были отобраны пробы для детальных палеомагнитных исследований: 3 длинномерных образца длиной 91, 84 и 41 см, полученные методом вдавливания L-образных уголков, и 18 дискретных образцов. Для дискретных образцов применялся

метод сплошного отбора по методике, описанной В.В.Кочегурой, с использованием стеклянных цилиндров внутренним объёмом 8 см³ [Кочегура, 1992]. Цилиндры вдавливались в ненарушенный осадок, после извлечения хранились в холодильнике на протяжении всех исследований для предотвращения высыхания осадка. Образцы маркировались с указанием направления и глубины отбора, упаковывались в пленку и хранились при +4 – +5 °C.

В лабораторных условиях для длинномерных проб проведено ступенчатое размагничивание, а для дискретных также была измерена анизотропия магнитной восприимчивости (AMB), которая характеризует магнитную текстуру отложений и позволяет делать выводы о гидродинамике среды осадконакопления и других факторах седиментогенеза и эпигенеза [Tarling, 1993]. Определение модуля естественной остаточной намагниченности (NRM) и размагничивание выполнялись в ресурсном центре «Геомодель» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета с использованием СКВИД-магнитометра SRM-755 (2G Enterprises, США). Последующее ступенчатое размагничивание переменным магнитным полем проводилось с шагом 5 мТл в диапазоне от 5 до 60 мТл, а с шагом 10 мТл в диапазоне от 60 мТл до максимального поля 100 мТл (рис. 2). Методом компонентного анализа (PCA) была рассчитана характеристическая компонента (ChRM) остаточной намагниченности, характеризующаяся минимальным значением максимального углового отклонения (MAD). Минимальные значения дают более точное определение направления вектора остаточной намагниченности [Kirschvink, 1980]. Направления ChRM рассчитывались при помощи программы PuffinPlot [Lurcock, 2012], шаги размагничивания выбирались преимущественно от 10 до 70 мТл. Помимо этого, для всех образцов было рассчитано значение медианного разрушающего поля (MDF), показывающего величину размагничивающего поля, необходимого для уменьшения намагниченности вдвое.

Depth: 1.42

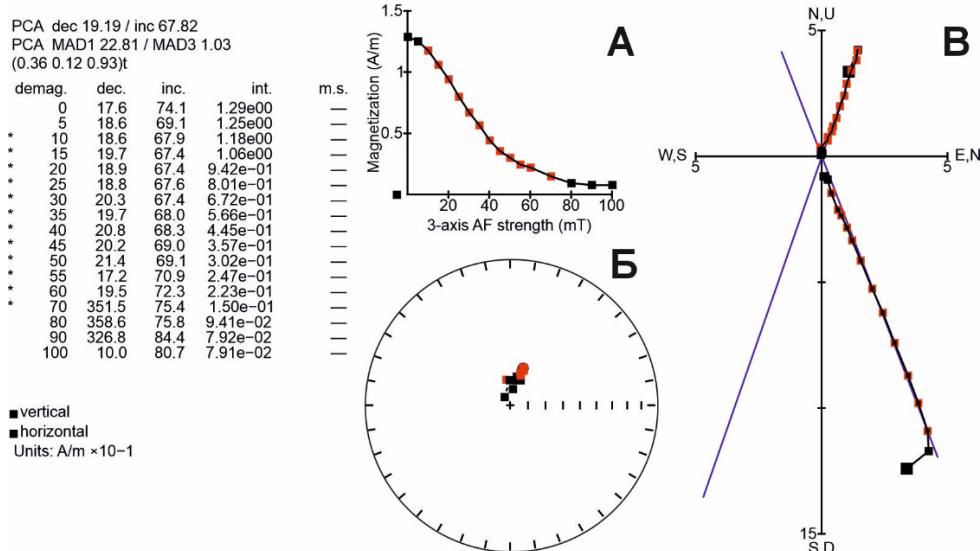


Рис. 2. График размагничивания для образца колонки ПМБ-2527Т (А – график разрушения величины NRM, Б – стереографическая проекция, В – диаграмма Зийдервельда), красным выделены интервалы для расчёта ChRM методом PCA.

Результаты. Полученные результаты измерений магнитной восприимчивости представлены на рисунке ниже (рис. 3). Поскольку колонки отобраны в разных частях акватории Берингово моря при различающейся глубине моря и условиях осадконакопления, провести между ними корреляцию затруднительно. Однако для всех колонок характерны достаточно высокие значения магнитной восприимчивости, достигающие $700\text{--}800 \times 10^{-5}$ СИ. Для колонок рейса 2024 года (ПМК-2420Т, ПМК-2401Т, ПМК-2410Т) по кривым магнитной восприимчивости выделяются интервалы повышенных значений, а не единичные пики, что может указывать на продолжительные

изменения условий осадконакопления. Для колонки 2025 года (ПМБ-2527Т) наблюдается другая картинка: кривая магнитной восприимчивости демонстрирует общий тренд снижения с глубиной. Важно отметить, что интервалы повышенной магнитной восприимчивости приурочены к слоям с преобладанием алевритовой составляющей, в то время как интервалы пониженных значений соответствуют более глинистым осадкам. Такие высокие значения магнитной восприимчивости могут быть связаны с поступлением терригенного материала с континента или с привносом вулканогенного материала из близлежащих областей кайнозойского вулканизма. Для корректной интерпретации необходимо провести дополнительные исследования минералогического состава осадков.

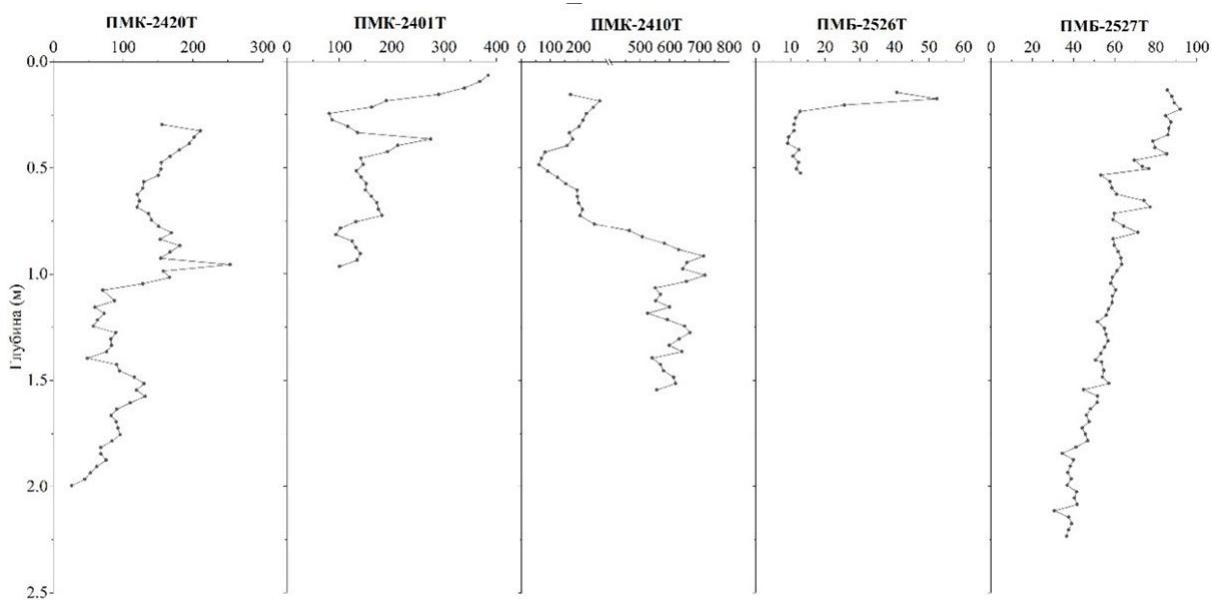


Рис. 3. Результаты измерений магнитной восприимчивости (СИ, 10^{-5}) колонок ПМК-2420Т, ПМК-2401Т, ПМК-2410Т, ПМБ-2526Т, ПМБ-2527Т.

На стереографической проекции представлены направления главных осей АМВ по 18 образцам колонки ПМБ-2527Т (рис. 4). Расположение минимальных осей (К3) с центральной части проекции, указывает на слабое влияние направленного придонного течения при осадконакоплении. Для колонки соответствует преимущественно спокойные гидродинамические условия седиментации.

Для колонки ПМБ-2527Т было проведено размагничивание длинномерных образцов, результаты которого приведены на рисунке ниже (рис. 5). Интервалы с обратной полярностью на колонке не наблюдаются, однако это не исключает возможности возрастной привязки осадков. По всему разрезу выделяется устойчивая характеристическая компонента остаточной намагниченности, достоверность которой подтверждается значениями MAD ниже 10° . Значения медианного разрушающего поля (MDF) варьируют от 20 до 40 мТл, что свидетельствует о наличии носителей остаточной намагниченности с высокой коэрцитивностью. Кривая наклонения ChRM в колонке ПМБ-2527Т характеризуется постепенным уменьшением значений вниз по разрезу без смены полярности. Понижение наклонения ChRM совпадает со снижением магнитной восприимчивости при стабильных значениях MAD и MDF. Эта корреляция может отражать изменения условий осадконакопления или носителя магнитного сигнала. Для уточнения причин выявленных изменений необходимо проведение дополнительных исследований магнитных параметров, чувствительных к концентрации и доменной структуре магнитных зёрен.

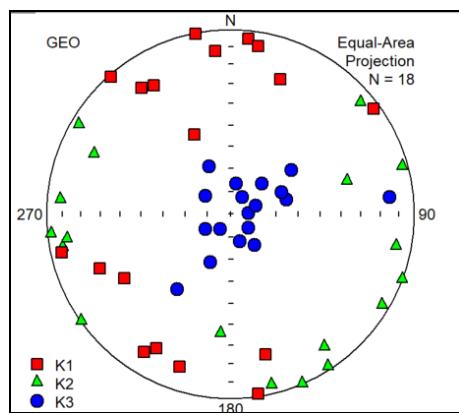


Рис. 4. Параметры анизотропии магнитной восприимчивости для колонки ПМБ-2527Т (главные оси: К1 – максимальные, К2 – средние, К3 - минимальные).

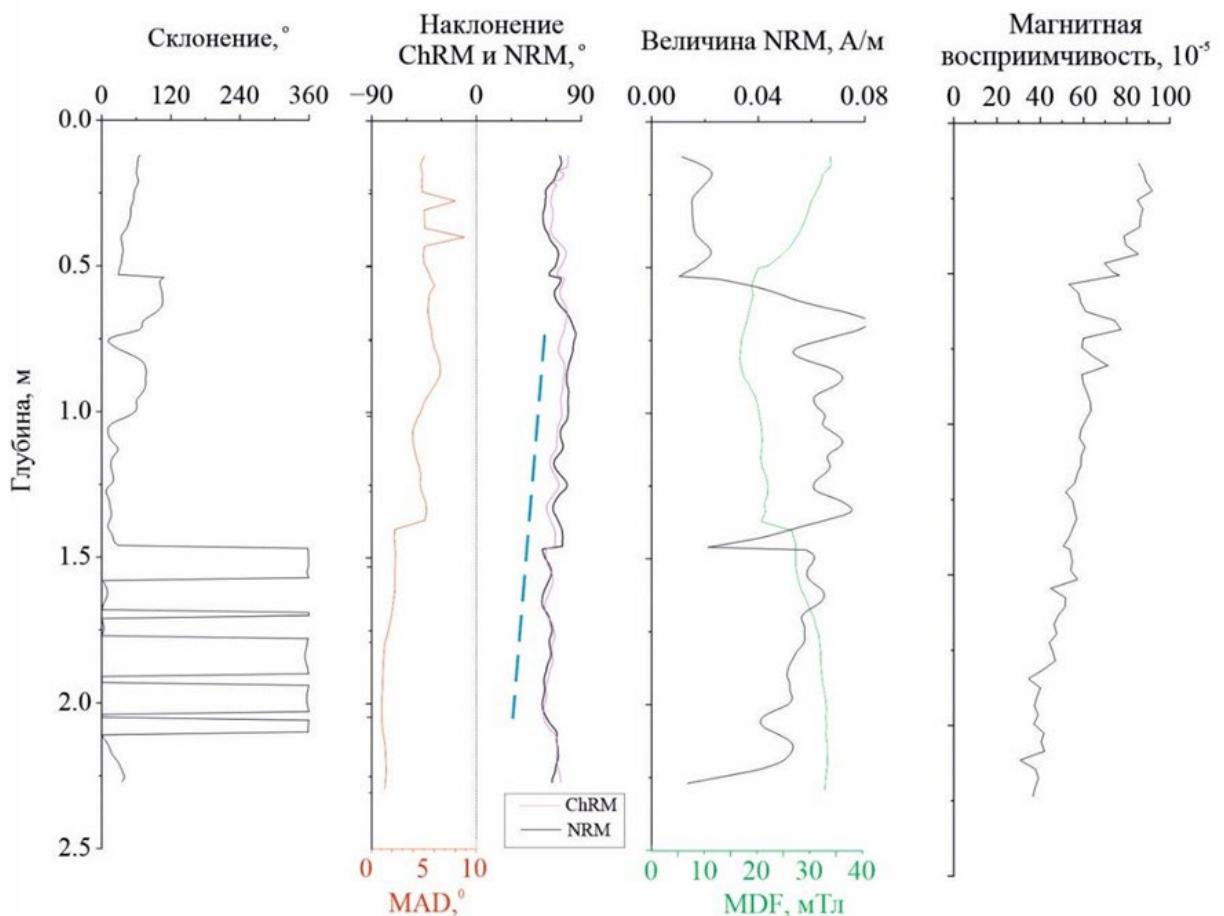


Рис. 5. Результаты палеомагнитных исследований колонки ПМБ-2527Т (синяя линия – кривая изменения наклонения).

В интервале глубин 0.7-2.0 м наблюдается однонаправленное изменение наклонения на величину порядка 10-15° (синяя линия на рис. 5). Аналогичные по амплитуде и характерному временному масштабу вариации наклонения наблюдаются в позднеплейстоценовых записях изменений направления геомагнитного поля, для которых характерен период 3-4 тыс. лет [Peck *et al.*, 1996; Ising, 2001; Tauxe *et al.*, 2018]. По аналогии с этими данными длительность формирования рассматриваемого интервала колонки ПМБ-2527Т мощностью 1.3 м может быть предварительно оценена как несколько тысяч лет (ориентировочно 3 тыс. лет), т.е. скорость осадконакопления можно оценить как 43.3 см/тыс. лет. На континентальном шельфе скорость осадконакопления могла быть существенно выше за счёт терригенного материала, поступающего с суши, что не противоречит оценке длительности формирования данного интервала. Важно отметить,

что данная оценка носит ориентировочный характер и требует проверки по независимым данным абсолютного датирования по раковинам моллюсков, которые были обнаружены на разных глубинах по разрезу.

Заключение. Полученные результаты палеомагнитных и петромагнитных измерений продемонстрировали, что колонки донных отложений Берингова моря содержат важную информацию об изменении геомагнитного поля и условиях осадконакопления. Характер распределения значений магнитной восприимчивости и её связь с литологией позволяют выделить интервалы с разными режимами осадконакопления и источниками сноса, в том числе участки с повышенным влиянием терригенного и вулканогенного материала. Результаты размагничивания колонки ПМБ-2527Т свидетельствуют о возможности надёжного использования направлений остаточной намагниченности для стратиграфических построений. Оценка длительности формирования интервала 0.75-2 м, полученная по сопоставлению с позднеплейстоценовыми записями геомагнитного поля, является предварительной, и в дальнейшем может быть проверена абсолютным датированием раковин. Зарубежные глубоководные разрезы IODP Expedition 323 (U1343–U1345) расположены в непосредственной близости от района выполненных российских работ, что открывает перспективы последующего сопоставления вариаций магнитной восприимчивости и направлений вектора ЕОН в шельфовых и глубоководных отложениях. Такое сопоставление позволит увязать новые данные по российскому сектору шельфа с существующей возрастной моделью Берингова моря и уточнить региональную картину четвертичного осадконакопления.

Автор выражает признательность экипажу НИС «Профессор Мультановский» за обеспечение выполнения работ и сотрудникам ФГБУ «ВНИИОкеангеология» за предоставленные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

- Kochevara B.B.* Применение палеомагнитных методов при геологической съёмке шельфа. СПб, изд-во ВСЕГЕИ, 1992. 143 с.
- Ising J.* Pollen analysis, chronology and palaeomagnetism of three Late Weichselian sites in southern Sweden. Thesis. Lund University, Lund. 2001. 26 p.
- 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, Q06Z45, doi:10.1029/2012GC004098.
- Peck J.A., King J.W., Colman S.M., Kravchinsky V.A.* An 84-kyr paleomagnetic record from the sediments of Lake Baikal, Siberia // Journal of Geophysical research. 1996. Vol. 101. Is. B5, P. 11365-11385. doi: 10.1029/96JB00328
- Takahashi K., Ravelo A.C., Alvarez Zarikian C.A.* Expedition 323 Scientists. Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program // Integrated Ocean Drilling Program Management International, 2011. Vol. 323. doi:10.2204/iodp.proc.323.2011
- Tarling D.H., Hrouda F.* The magnetic anisotropy of rocks. Chapman and Hall, London, 1993. 217 pp.
- Tauxe L, Banerjee S.K., Butler R.F., van der Voo R.* Essentials of Paleomagnetism, 5th Web Edition, 2018.

PRELIMINARY RESULTS OF PALEOMAGNETIC STUDIES BASED ON DATA FROM THE 2024, 2025 EXPEDITIONS IN THE BERING SEA

Kuznetsov E.A.¹, Khosnullina T.I.^{1,2}, Bochkarev A.V.², Yarzhembovsky Y.D.², Bogin V.A.²

¹St.Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

Marine geological survey work carried out by VNIIookeangeologia in the areas of the Commander Islands and the Bering Sea shelf has provided new data on the geological structure of the Russian continental shelf. This study focuses on paleomagnetic and rock-magnetic investigations of sediment cores from the Bering Sea aimed at refining depositional conditions and sediment ages in the upper part of the sedimentary cover. Data from stepwise alternating-field demagnetization and magnetic susceptibility profiles are used for a preliminary assessment of the duration of deposition of intervals and for interpreting changes in depositional environments. The paleomagnetic results form a basis for improving the reconstruction of Quaternary sedimentation history in the Bering Sea, which is important for geological mapping of the region. The expedition was carried out under the state assignment of VNIIookeangeologia for the compilation of the 1:1,000,000 scale State Geological Map of the Russian continental shelf.

Keywords: *bottom sediments, paleomagnetic studies, sediment age, magnetic susceptibility, Bering Sea*

REFERENCES:

- Kochegura V.V.* Application of Paleomagnetic Methods during the Geological Survey of the Shelf. VSEGEI, St. Petersburg, 1992. 143 p. (in Russian).
- Ising J.* Pollen analysis, chronology and palaeomagnetism of three Late Weichselian sites in southern Sweden. Thesis. Lund University, Lund. 2001. 26 p.
- 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, Q06Z45, doi:10.1029/2012GC004098.
- Peck J.A., King J.W., Colman S.M., Kravchinsky V.A.* An 84-kyr paleomagnetic record from the sediments of Lake Baikal, Siberia // Journal of Geophysical research. 1996. Vol. 101. Is. B5, P. 11365-11385. doi: 10.1029/96JB00328
- Takahashi K., Ravelo A.C., Alvarez Zarikian C.A.* Expedition 323 Scientists. Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program // Integrated Ocean Drilling Program Management International, 2011. Vol. 323. doi:10.2204/iodp.proc.323.2011
- Tarling D.H., Hrouda F.* The magnetic anisotropy of rocks. Chapman and Hall, London, 1993. 217 pp.
- Tauxe L, Banerjee S.K., Butler R.F., van der Voo R.* Essentials of Paleomagnetism, 5th Web Edition, 2018.