



**XII Международная научно-практическая конференция
«Морские исследования и образование»
MARESEDU-2023**

**XII International conference
«Marine Research and Education»
MARESEDU-2023**

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ /
CONFERENCE PROCEEDINGS
Том IV (IV) / Volume IV (IV)**

**23-27 октября 2023 г.
г. Москва**



УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

Т78

Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» Том IV (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2024, 505 с.:

ISBN 978-5-6049290-6-3

ISBN 978-5-6051693-1-4 (т.4)

Сборник «Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, гидрографические и геофизические исследования на акваториях, морские ландшафты морская биология, морские млекопитающие, рациональное природопользование и подводное культурное наследие. Помимо основных секций на конференции были представлены: пленарная сессия, посвященная 70-летию кафедры океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и 85-летию ББС МГУ имени Н.А. Перцова, секция научно-популярных фильмов и круглые столы: «Современные авиационные исследования объектов биологического разнообразия. Практика и перспективы развития» и «Применение искусственного интеллекта для изучения биологических объектов».

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский
пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

Все права на издание принадлежат
ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова», 2024
© ООО «ПолиПРЕСС»

УДК 552.12; 551.43

Рубрика 38.15.00

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

LITHOLOGICAL FEATURES OF THE BOTTOM SEDIMENTS IN THE SOUTH-WESTERN KARA SEA

Сухих Елена Александровна¹, Ананьев Роман Александрович², Мороз Евгений Андреевич¹

¹ Геологический институт РАН, Москва

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Sukhikh Elena Alexandrovna¹, Ananiev Roman Alexandrovich², Moroz Evgeny Andreevich¹

¹ Geological Institute RAS, Moscow

² Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

Введение

Четвертичный осадочный чехол юго-западной части Карского моря формировался в условиях чередований ледниковых и межледниковых обстановок, а также трансгрессивно-регрессивных циклов. По результатам акустической съемки рельефа дна и осадочного чехла выделяются районы с выраженным действием различных рельефообразующих факторов: флювиального, флювиогляциального, гляциального, криогенного, флюидогенного, тектонического [Гайнанов и др., 2005; Рекант, Васильев, 2011; Кохан и др., 2023]. Эпохи регрессии выделяются на акустической записи в форме эрозионных границ несогласия в осадочном разрезе, маркирующихся палеоврезами речных долин и каналов [Мусатов, 1998]. Также палеодолины выражены в современном рельефе дна [Ласточкин, 1977]. Вопросы о происхождении эрозионных врезов (флювиогляциальное или флювиальное), так же как и о положении границы последнего оледенения на шельфе Карского моря остаются дискуссионными [Павлидис, 1997; Patton et al., 2017]. На Приямальском шельфе распространены субаквальные многолетнемерзлые породы, поэтому в ряде районов процессы, связанные с их деградацией, могут приобретать роль рельефообразующих [Serov et al., 2015].

При изучении неконсолидированных отложений, образованных в морских, ледниковых и перигляциальных условиях, в зарубежных исследованиях с успехом применяется микроморфологический анализ, предметом которого является взаимное расположения составных частей осадочной массы, к которым относятся тонкодисперсное вещество, обломочный материал алевритовой, песчаной и гравийно-галечной размерности, поровые и трещинные пространства, а также новообразования [van der Meer, Menzies, 2011]. Данный подход вполне близок структурно-текстурному анализу, более распространенному в отечественных работах. С учетом имеющейся базы микроморфологических проявлений различных условий осадконакопления [Linch et al., 2012], в данном исследовании выполнена попытка проследить проявления различных рельефообразующих факторов, в том числе

ледниковой нагрузки, в микротекстурных и микроструктурных особенностях исследуемых осадочных образцов.

Данные и методика

В работе использовались материалы пробоотбора ударной грунтовой трубкой в 41 и 49 рейсах НИС «Академик Николай Страхов» и в 51 рейсе НИС «Академик Борис Петров» в юго-западной части Карского моря (рис. 1). Микроскопическое исследование структурно-текстурных особенностей в ненарушенных осадочных последовательностях выполнялось в петрографических шлифах. Изучение минерального состава отдельных гранулометрических фракций проводилось под бинокуляром. Анализ химического состава отдельных минеральных зерен и прозрачно-полированных шлифов осуществлялся на сканирующем электронном микроскопе TESCAN (аналитик Горькова Н.В., ГИН РАН).

Для анализа возможного проявления рельефообразующих факторов в литологических особенностях (гранулометрическом, минеральном составе, текстурных и микротекстурных признаках) исследуемых осадочных колонок использовались материалы акустической съемки, по результатам которой выбиралось местоположение точек пробоотбора. В рейсах НИС «Академик Николай Страхов» акустическая съемка проводилась с помощью гидроакустического комплекса, в состав которого входили мелководный и глубоководный многолучевые эхолоты RESON SeaBat 8111(частота излучаемого сигнала 100 кГц) и 7150 (частота излучаемого сигнала 12.5 кГц) и акустический профилограф EdgeTech 3300 (диапазон частотно-модулированных сигналов 2–12 кГц). В рейсе НИС «Академик Борис Петров» гидроакустический комплекс был представлен многолучевым эхолотом SeaBat T50-ER с частотой сигнала 200 кГц и профилографом Parasound P70, который позволяет получать данные в двух режимах: низкочастотном (0.5–7 кГц) и высокочастотном (18–24 кГц).

Съемка методом непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП) с частотой спектра излучаемого сигнала 300–400 Гц проводилась на аппаратуре «Геонт-шельф». В качестве излучателя и приемника использовались спаркер ($W=600$ Дж) и одноканальная сейсмокоса (длина 25 м).

Результаты

По данным многолучевого эхолотирования и сейсмопрофилирования в восточной части района исследований характерными формами рельефа являются палеодолины. В акустическом разрезе донных осадков выделяются палеоврезы нескольких генераций. На сейсмограммах наблюдаются формы газовых каналов, приуроченные к бортам долин, иногда с проявлением дегазации в водной толще, а также акустические аномалии типа «яркое пятно». Присутствуют участки с характерным для мерзлых отложений резким ослаблением акустического сигнала и освещением сейсмозаписи, при этом внутри освещенных участков рефлекторы легко прослеживаются. В западной, Приновоземельской, части в качестве рельефообразующих отмечаются ледниковый, водно-ледниковый и криогенный факторы. С учетом данных акустической съемки рассматриваемые колонки были условно разделены на западные и восточные.

Осадки верхнего литостратиграфического комплекса (ЛСК-I) представлены довольно однородными алеврито-глинистыми или глинисто-алевритовыми оливково-серыми илами. Их мощность, состав, количество песчаной и гравийно-галечной примеси определяется удаленностью от берега, глубиной моря и рельефом дна, что соответствует морскому седimentогенезу в условиях последней голоценовой трансгрессии.

Ниже однородных неслоистых илов ЛСК-И наблюдается изменение гранулометрического состава и текстур осадка.

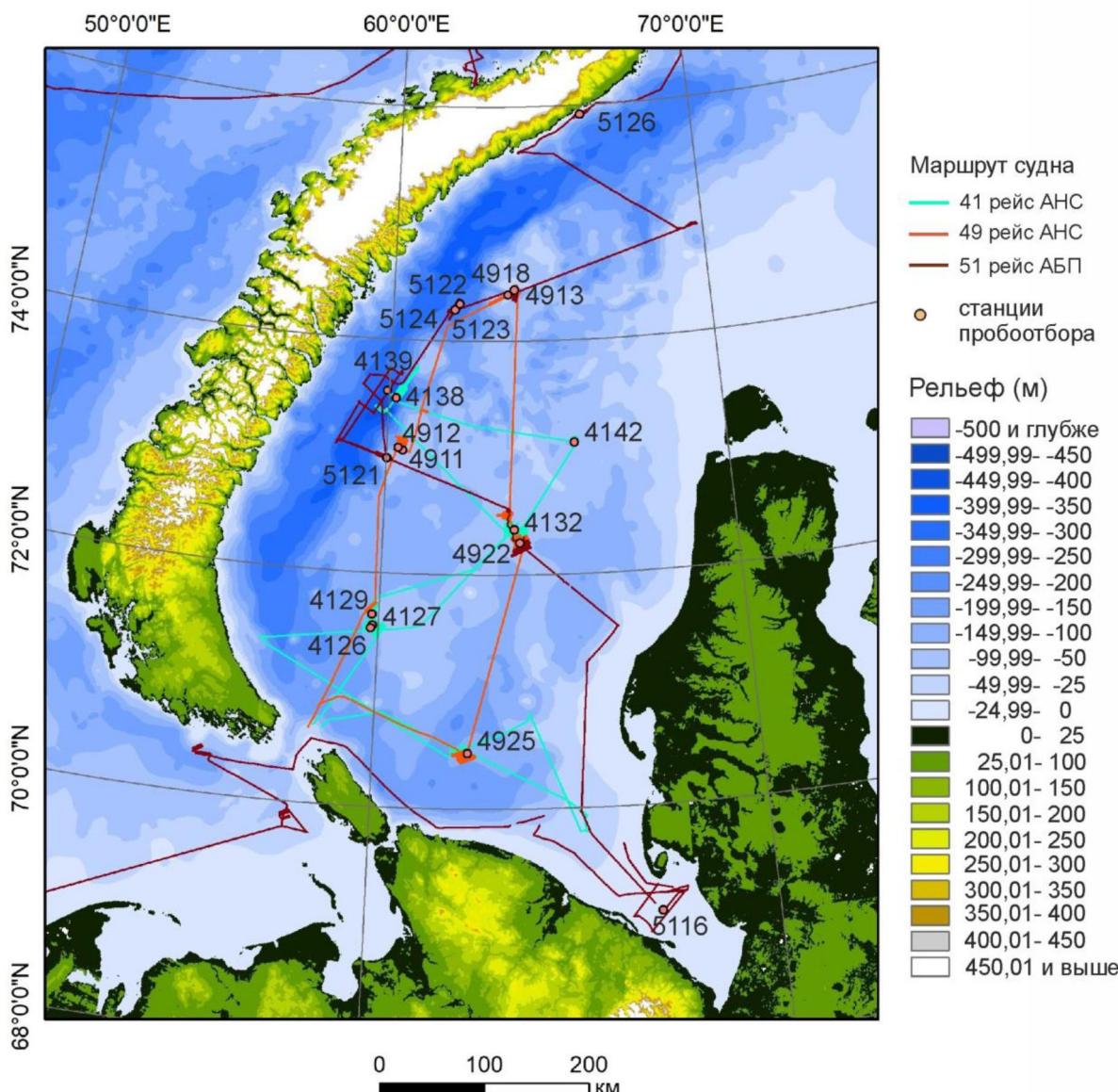


Рис. 1: Маршрут рейсов НИС «Академик Николай Страхов» (АНС) и «Академик Борис Петров» (АБП) и положение станций пробоотбора на полигонах исследований в юго-западной части Карского моря.

В восточных колонках встречаются слоистые текстуры. Гранулометрически обусловленная слоистость наблюдается в северо-восточной колонке 4142, (переслаивание песчаного и глинисто-алевритового материала в диапазоне 128–201 см). Также в рассматриваемых восточных колонках имеет место явление «псевдослоистости», когда послойное окрашивание гранулометрически однородного осадка органическим веществом (ОВ) приводит к изменению не только цвета, но и влажности внутри окрашенного слоя, что и формирует визуальный эффект наличия слоистости при единобразии гранулометрического состава (рис. 2). В западных колонках подобные текстуры не обнаружены.

Кроме того, в восточных колонках при макроописании наблюдались горизонты с флюидальными текстурами, выраженным в цвете донного осадка. В петрографических

шлифах, отобранных из соответствующих интервалов, были выявлены характерные рыжевато-коричневые глинистые прослои, которые чередуются с песчано-алевритовым осадком, состоящим в основном из зерен кварца различной степени окатанности. Внутри прослоев присутствуют системы трещин, иногда с темноцветным окрашиванием околотрещинных оторочек, вызванным повышенными концентрациями ОВ в этих участках, а также скопления темноцветных прожилок (вермикулярные структуры). По данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в шлифе участков вещества с рыжим оттенком, концентрации атомарного углерода в нем довольно близки и находятся в диапазоне 16–22%, несколько возрастая в пределах вермикулярных структур.

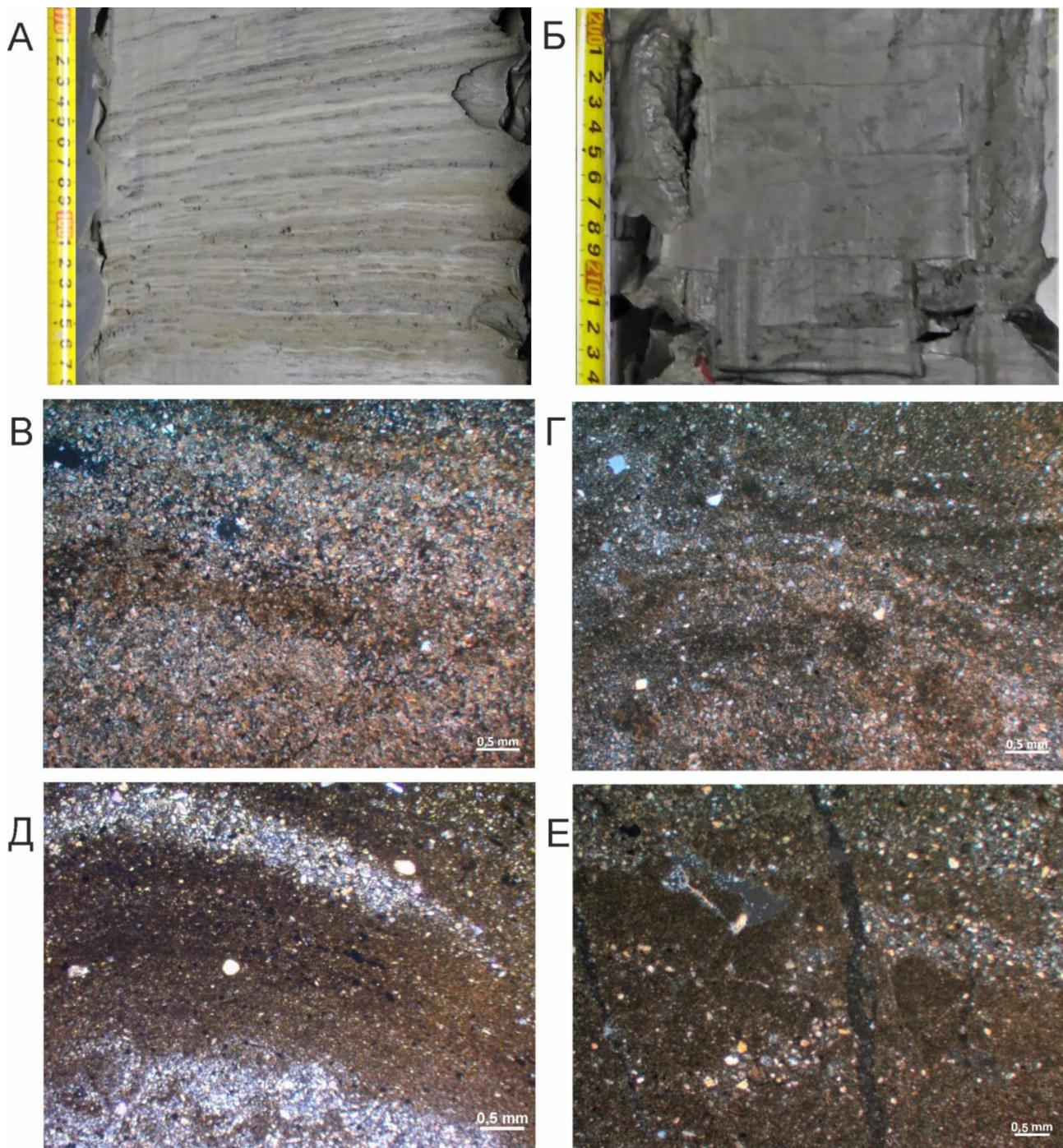


Рис.2: Слоистая текстура в колонках 4922 (170–188 см) – А и 4925 (200–214 см) – Б; проявление эффекта псевдослосистости в микротекстуре в образцах 4922_183 см – В, 4925_203 см – Г, 5116_75 см – Д (фрагмент микроскладчатой структуры, окрашенной тонкодисперсным органическим веществом, в прибортовой части ледово-экзарационной борозды); 4142_268 см – Е.

В ряде западных колонок (5121, 5122, 5123) в отложениях ниже слоя однородных илов ЛСК-И наблюдается резкое увеличение содержания материала алевритовой и песчаной размерности, а также количества грубообломочного материала. Это может являться индикатором субгляциальной (подледниковой) обстановки осадконакопления в данном интервале. Кроме гранулометрического состава, характерного для ледниковых тиллов, в некоторых образцах западных колонок присутствуют следующие индикаторы ледниковых нагрузок: ротационные структуры или турбаты, структуры типа «гало», раздавленные минеральные агрегаты и зерна, микроштриховка (рис. 3). Явление микроштриховки обнаружено в образцах глинистого и алеврито-глинистого состава.

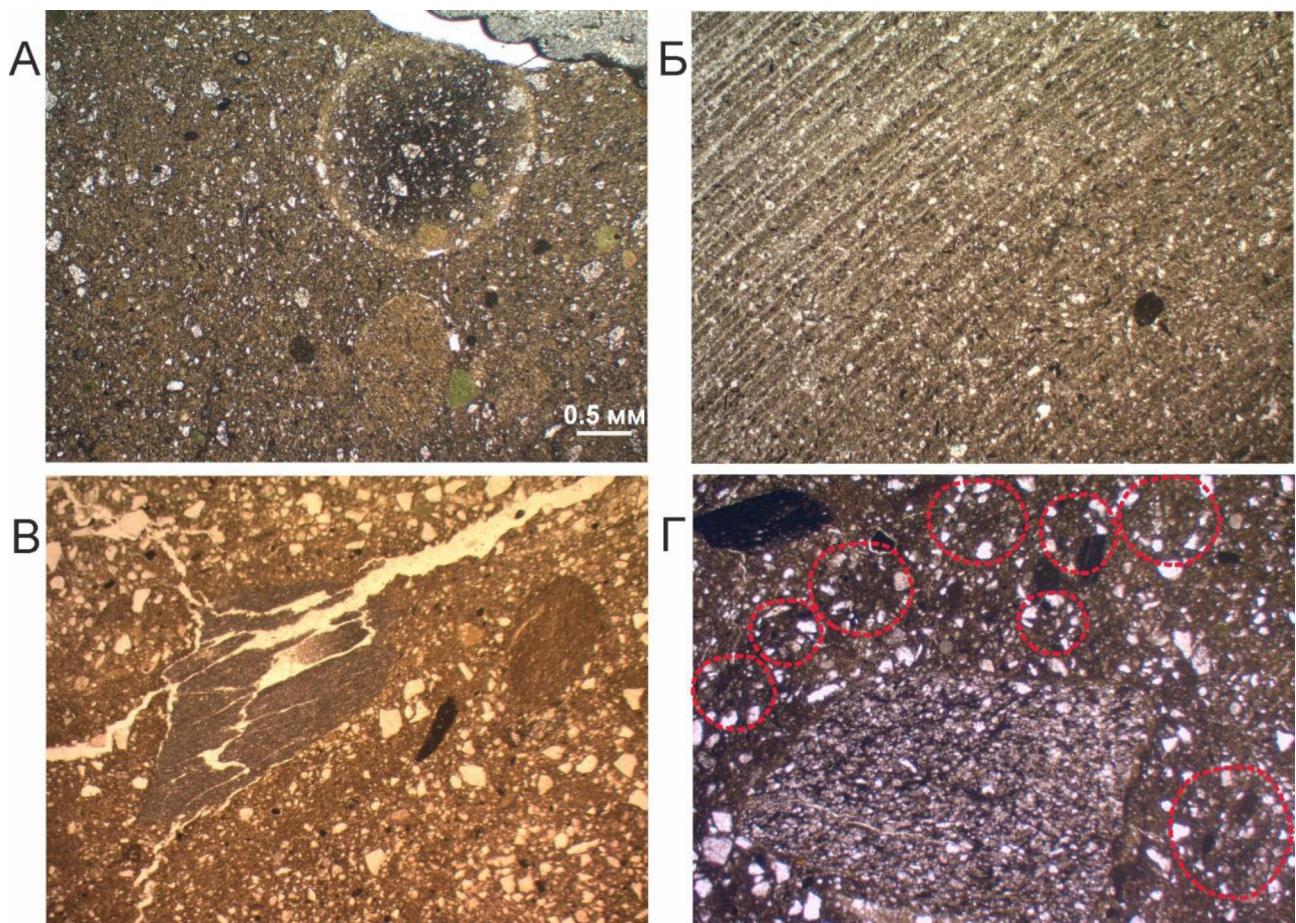


Рис.3: Микроструктурные и микротекстурные проявления ледниковой нагрузки в петрографических шлифах осадков приновоземельских полигонов исследования. Петрографические шлифы, проходящий свет без анализатора: А – структура типа «гало» (образец 5123_245 см); Б – микроштриховка (образец 5126_86 см); В – раздавленный минеральный агрегат (образец 5121_115 см); Г – ротационные структуры обозначены красным пунктиром (образец 5121_92 см).

В некоторых горизонтах западных колонок (4139, 4912) на микротекстурном уровне выражены ориентированные «потоки», образованные обломочным материалом алевритовой,

песчаной и гравийной размерности, в которые также включены зоны, состоящие из глинистого вещества. Подобные структурно-текстурные особенности указывают на подвижность осадочных слоев и, возможно, маркируют перигляциальную обстановку осадконакопления.

Иногда, как в западных, так и в восточных осадочных последовательностях переход от относительно однородных осадков к нижележащему горизонту с описанными структурно-текстурными особенностями маркируется ярко выраженной литологической границей. Осадочный материал на границе отличает от прилежащих слоев незначительным ростом содержания песчаной и алевритовой фракций, комковатой текстурой, пониженней влажностью и выраженными оттенками зеленовато-оливкового цвета. Ранее аналогичные границы уже были описаны для района исследований и обозначены как «сухие глины» или «хардграунды» [Левитан и др. 1994]. В рейсах НИС «Академик Николай Страхов» в юго-западной части Карского моря хардграунды были вскрыты на пяти станциях пробоотбора [Сухих, 2022].

В минеральном составе песчаной и алевритовой фракций осадка всех исследованных образцов преобладает кварц. Количество полевошпатового материала возрастает в западных колонках. Среди аутигенных минералов в осадочных отложениях юго-западной части Карского моря широко распространен гидротроилит ($\text{FeS}\cdot\text{H}_2\text{O}$). Распределение гидротроилита по разрезу неравномерно, от мелких единичных примазок, либо полного отсутствия, до крупных пятен и прослоев. Также определены $\text{Fe}-\text{Mn}$ стяжения, вивианит ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$), пирит (FeS_2), гипс ($\text{CaSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$), апатит ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F})_2$), маркирующие в отложениях лишь некоторые горизонты или прослои, которые иногда имеют измененный цвет.

В ходе исследования минерального состава псаммитовой гранулометрической фракции, как в тяжелой, так и в легкой минеральной подфракциях, а также в петрографических шлифах были обнаружены черные зерна округлой или удлиненной формы с характерным маслянистым блеском. Сложный элементный состав, полученный по данным СЭМ, не позволил идентифицировать их как какой-либо минерал. При схожем облике состав мог кардинально меняться не только от зерна к зерну, но и внутри одного зерна. Широкие наблюдаемые вариации содержания атомарного углерода (от 5 до 29 %) и разнообразие минерального состава в точках сканирования на поверхности минеральных зерен данного типа позволило сделать вывод о роли углеводородов в формировании данных агрегатов, которые могут включать минеральные зерна разнообразного состава и размерности, склеенные и покрытые пленкой битумоида. Наличие в составе данных минеральных зерен углеводородов смолисто-асфальтеновой фракции было подтверждено методом люминесцентной микроскопии.

Для образцов из горизонтов с характерными структурно-текстурными особенностями выполнялся люминесцентно-битуминологический анализ капиллярных вытяжек с последовательным использованием в качестве растворителей петролейного эфира (выделение маслянистой фракции) и бензола (выделение смолисто-асфальтеновой фракции). Наибольшая ширина капиллярных зон петролейно-эфирного экстракта соответствует интервалам «хардграундов». Наиболее темные цвета бензольного экстракта характерны для образцов с наибольшим количеством черных зерен, определенных как битуминозные агрегаты.

Выводы

По результатам литолого-минералогических исследований в формировании аутигенных новообразований и минералов в исследованных осадочных отложениях ведущую роль играет

железо. Можно сделать вывод о разнообразии микробиальных сообществ на разных уровнях осадочного разреза. В западной части района исследований наблюдаемые структурно-текстурные особенности формировались под влиянием процессов, протекающих в подледниковой среде и перигляциальной зоне ледника. В восточной части района исследований многие структурно-текстурные особенности связаны с неравномерным распределением органического вещества по осадочному разрезу.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках темы госзадания ГИН РАН № FMMG-2022-0001. Сбор и обработка сейсмоакустических данных выполнялись в рамках темы госзадания ИО РАН № FMWE-2021-005

Список литературы:

1. Гайнанов В.Г., Поляк Л.В., Гатауллин В.Н., Зверев А.С. Сейсмоакустические исследования следов покровных оледенений в Карском море // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. – 2005. – № 1. – С. 38–44.
2. Кохан А.В., Мороз Е.А., Еременко Е.А. и др. Флюидогенный рельеф районов распространения многолетней мерзлоты на шельфе Печорского и Карского морей // Вестник МГУ. Серия 5: География. – 2023. – Т. 78 – № 3. – С. 104–124.
3. Ласточкин А.Н. Подводные долины северного шельфа Евразии // Известия Всесоюзного географического общества. – 1977. – Т. 109. – № 5. – С. 412–417.
4. Левитан М.А., Хусид Т.А., Купцов В.М. и др. Типы разрезов верхнечетвертичных отложений Карского моря // Океанология. – 1994. – Т. 34. – № 5. – С. 776–788.
5. Мусатов Е.Е. Палеодолины Барнцево-Карского шельфа // Геоморфология. – 1998. – № 2. – С. 90–95.
6. Павлидис, Ю.А. Палеогеография и оледенение арктического шельфа в позднем плейстоцене // Океанология. – 1997. – Т. 37. – № 6. – С. 910–914.
7. Рекант П.В., Васильев А.А. Распространение субаквальных многолетнемерзлых пород на шельфе Карского моря // Криосфера Земли. – 2011. – Т. 25. – № 4. – С. 69–72
8. Сухих Е.А. Роль углеводородов в формировании литологической границы типа «хардграунд» в верхнем слое донных осадков в западной части Карского моря // Пустоваловские чтения 2022. Материалы традиционной конференции, посвященной 120-летию Л.В. Пустовалова. Москва. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2022. – С. 142–144.
9. Linch L.D., Meer van der, J.J.M., Menzies J. Micromorphology of iceberg scour in clays: Glacial Lake Agassiz, Manitoba, Canada // Quaternary Science Reviews. – 2012. – Vol. 55. – P. 125–144.
10. Meer van der, J.J.M., Menzies J. The micromorphology of unconsolidated sediments // Sedimentary Geology. – 2011. – Vol. 238. – P. 213–232.
11. Patton H., Hubbard A., Andreassen K. et al. Deglaciation of the Eurasian ice sheet complex // Quaternary Science Reviews. – 2017. – V. 169. – P. 148–172.

12. Serov P., Portnov A., Mienert Ju. et al. Methane release from pingo-like features across the South Kara Sea shelf, an area of thawing offshore permafrost // Journal of Geophysical Research – Earth Surface. – 2015. – Vol. 120(8). – P. 1515–1529.