

СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

¹Сухих Е.А., ²Чикирёв И.В., ³Ананьев Р.А., ¹Мороз Е.А., ³Мутовкин А.Д., ³Сорохтин Н.О.,
¹Соколов С.Ю.

¹Геологический институт РАН, 119017, Москва, Россия

²Мурманский арктический университет, 183010, Мурманск, Россия

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Россия

e-mail: sukhikh_ea@mail.ru

По данным акустической съемки в 41-м и 49-м рейсах НИС «Академик Николай Страхов», установлены закономерные различия морфологии рельефа и строения осадочного чехла в различных районах юго-западной части Карского моря. На основании ряда структурно-текстурных особенностей выделены восточный и западный типы осадочного разреза. Отмечается неоднородное распределение органического вещества по разрезу с формированием слоистых и флюидальных текстур. Описываются литологические границы типа «хардграунд».

Ключевые слова: осадочный разрез, структурно-текстурные особенности, петрографические шлифы, акустическая съемка, Карское море.

TEXTURAL AND STRUCTURAL FEATURES OF THE UPPER LAYER OF THE BOTTOM SEDIMENTS IN THE SOUTHWESTERN KARA SEA

¹Sukhikh E.A., ²Chikirev I.V., ³Ananyev R.A., ¹Moroz E.A., ³Mutovkin A.D., ³Sorokhtin N.O.,
¹Sokolov S.Yu.

¹Geological Institute RAS, 119017, Moscow, Russia

²Murmansk Arctic University, 183010, Murmansk, Russia

³P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, 117997, Moscow, Russia

According to acoustic survey data from the cruises 41 and 49 of the R/V Akademik Nikolay Strakhov, regular differences in relief morphology and sedimentary cover structure was established in the various areas of the southwestern Kara Sea. Based on a number of textural and structural features, the eastern and western types of the sedimentary section are distinguished. A heterogeneous distribution of organic matter along the section is revealed with the formation of layered and flow structures, as well as a lithological boundary of the «hardground» type.

Keywords: sedimentary section, textural and structural features, thin sections, acoustic survey, Kara Sea.

Введение

Геолого-геофизические исследования на Баренцево-Карском шельфе в 41-м и 49-м рейсах НИС «Академик Николай Страхов» проводились с целью изучения особенностей строения рельефа морского дна и верхней части осадочного разреза, а также сопутствующих природных рисков в районах освоения нефтегазовых месторождений и вдоль трассы Северного Морского пути [1,2] (рис. 1).

Карское море выделяется среди других морей арктического шельфа Евразии как зона максимального взаимодействия в системе река-море, поскольку в Карское море впадают крупнейшие сибирские реки Обь и Енисей, объем годового пресноводного стока которых сопоставим с общим стоком рек в остальные моря евразийского шельфа. Зона эстуария является мелководной областью с мощным голоценовым осадочным чехлом.

По совокупности литолого-геохимических признаков, Карское море, без учета северной глубоководной части, занятой ортогональными трогами Святой Анны и Воронина, условно подразделяется на две фациальные области: Западно-Карскую (юго-западная часть Карского моря) и Обь-Енисейскую

(Обь-Енисейское мелководье) [3].

Юго-западная часть Карского моря в меньшей степени подвержена влиянию речного стока, отличается значительной расчлененностью рельефа с перепадами глубин от нескольких десятков до более 500 м в районе Восточно-Новоземельского желоба. Для юго-западной части Карского моря характерна смена условий осадконакопления под воздействием трансгрессивно-регрессивных циклов и чередования ледниковых и межледниковых обстановок. Эпохи регрессии выделяются на акустической записи в форме эрозионных границ несогласия в осадочном разрезе, маркирующихся палеоврезами речных долин и каналов, а также палеодолинами, выраженными в современном рельефе дна [4]. Положение границы последнего оледенения на шельфе Карского моря остается дискуссионным вопросом [5,6]. По результатам сейсмоакустической съемки осадочного чехла, выделяются районы с выраженным действием различных рельефообразующих факторов: флювиального, флювиогляциального, гляциального, криогенного, тектонического [7].

В ряде районов Карского шельфа проявляются процессы, связанные с деградацией субаквальных

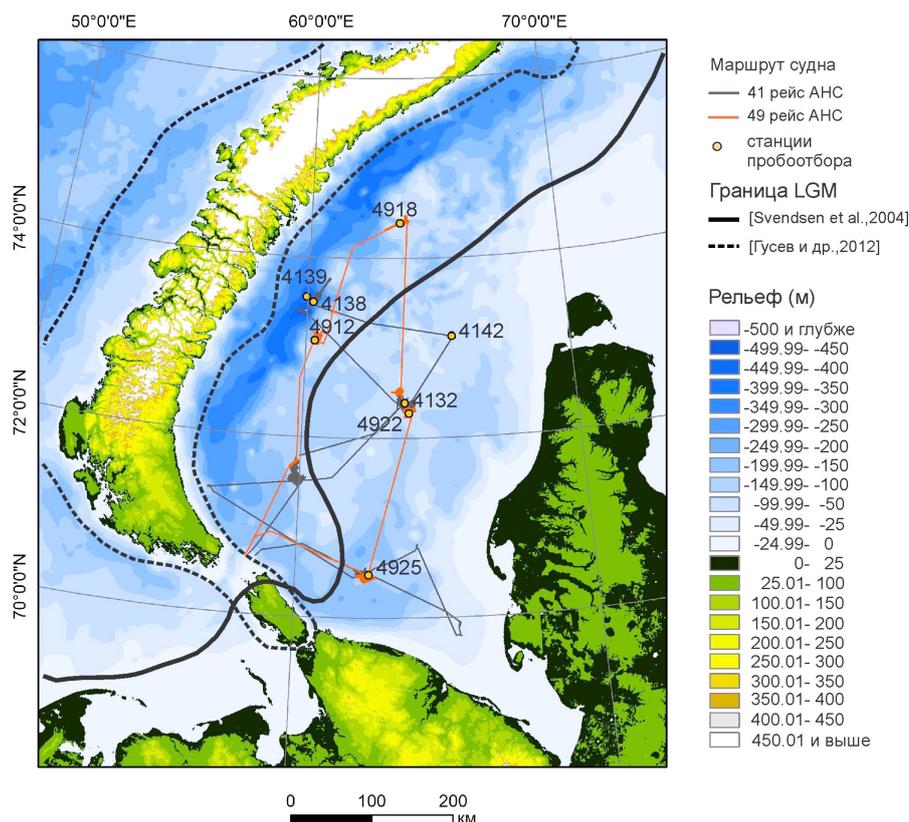


Рис. 1. Район исследований 41-го и 49-го рейсов НИС «Академик Николай Страхов» в Карском море. Обозначено положение границы последнего ледникового максимума (LGM) по данным [14,15]

многолетнемерзлых пород (СММП), приобретая роль рельефообразующих. По некоторым оценкам, СММП присутствуют на глубинах моря менее 105 м и представлены прерывистым и островным типами многолетней мерзлоты [8]. Представления о границе распространения и условиях залегания СММП постоянно меняются по мере появления новых геолого-геофизических данных [9,10]. На примере районов приямальского мелководья установлена возможность поступления реликтового органического вещества в донные осадки акватории в составе грунтовых вод при деградации мерзлоты на современной суше [11]. Одной из характерных форм рельефа, связанных с деградацией многолетнемерзлых пород, считаются пингоподобные структуры [12].

В статье рассматриваются проявления разнообразных рельефообразующих факторов в структурно-текстурных особенностях верхнего слоя донных осадков юго-западной части Карского моря. Используется имеющаяся база микроморфологических проявлений различных условий осадконакопления в неконсолидированных отложениях [13]. Отмечаются различные формы распространения и скопления органического вещества (ОВ) в осадках.

Данные и методика

В работе использовался материал пробоотбора, полученный грунтовой трубкой (УГТ-147) в 41-м и 49-м рейсах НИС «Академик Николай Страхов». Точки пробоотбора выбирались по результатам аку-

стической съемки осадочного чехла с помощью гидроакустического комплекса, в состав которого входили мелководный и глубоководный многолучевые эхолоты RESON SeaBat 8111 и 7150 и акустический профилограф EdgeTech 3300.

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).

Нумерация образцов осадочного материала приведена в формате: № колонки_середина интервала пробоотбора (в см). Интервал пробоотбора составлял около 4 см.

Изучение минерального состава отдельных гранулометрических фракций проводилось под бинокляром. Микроскопическое исследование осадочного материала выполнялось в петрографических шлифах.

Просмотр отдельных минеральных зерен, свежих сколов керна и прозрачно-полированных шлифов осуществлялся под сканирующим электронным микроскопом TESCAN (аналитик Горькова Н.В., ГИН РАН).

Глинистые минералы во фракции <0.001 мм и валовый минеральный состав образцов в порошке изучались рентгено-дифрактометрическим методом (аналитик Покровская Е.В., ГИН РАН).

Результаты исследования

Акустическая съемка

По данным многолучевого эхолотирования и сейсмопрофилирования в рейсах НИС «Академик Николай Страхов», в рельефе дна и в акустическом разрезе осадочного чехла юго-западной части Карского моря выражены врезы палеодолин нескольких генераций. Выделяются различные формы поперечного профиля врезов, определяемые стадией эрозии, ее преобладающим типом и склоновыми процессами, которые, в свою очередь, зависят от возраста структуры, устойчивости горных пород и климатических условий.

Станция 4925 является самой южной из рассматриваемых осадочных последовательностей, отобрана на осередке между двумя руслами палеодолины с U-образной формой поперечного профиля. Фрагмент палеодолины прекрасно выражен в рельефе дна (рис. 2б). Хорошая сохранность морфоскульптуры и ее флювиальный «облик», с одной стороны, позволяют отнести данную область к поверхности расчленения, которая была сформирована в регрессивную эпоху и не была изменена абразионно-аккумулятивной деятельностью моря. С другой стороны, значительная глубина моря (198-259 м) в районе нахождения палеодолины расходится с существующими данными по положению уровня моря во время последних регрессий [16], что может свидетельствовать о высоких скоростях погружения района, либо о субаквальном формировании морфоскульптуры.

Для флювиальных (образованных под действием водотоков) форм рельефа Баренцево-Карского шельфа ключевым является вопрос их генезиса. Кроме результата действия собственно флювиальных процессов в регрессивные этапы развития, русловые формы могут представлять собой подледные ледниковые каналы или продукт таяния ледника в приграничной зоне, в зависимости от палеогеографических условий развития района. Необходимо отметить, что масштаб последнего оледенения в Баренцево-Карском регионе остается до настоящего времени дискуссионным вопросом [15].

По данным многолучевого эхолотирования, на полигоне, где отобрана осадочная колонка 4925, отсутствуют гляциальные формы рельефа. По данным сейсмопрофилирования, в осадочном разрезе наблюдаются погребенные палеоврезы с проявлением в их бортах акустических аномалий типа «яркое пятно» со сменой полярности отражений, что свидетельствует о процессе дегазации, идущей по зонам прошлых эрозионных нарушений (рис. 2з), которые, в свою очередь, могут наследовать зоны тектонических деформаций.

Рельефообразующие факторы на полигоне со станциями пробобора 4922 и 4132, сформировавшие глубокую (перепад глубин от 45 м до 242 м)

каньонообразную депрессию и лежащее восточнее понижение рельефа (100-150 м) с многочисленными отрицательными формами рельефа невыясненного генезиса, имеют дискуссионный характер. Колонка 4922 взята на ровной поверхности у борта южного продолжения депрессии, колонка 4132 – внутри одной из отрицательных форм (рис. 2в).

Колонка 4142 отобрана в районе Русановской структуры и является самой северной из рассматриваемых восточных осадочных последовательностей (рис. 2е). Ряд особенностей морфологии рельефа и строения осадочного разреза позволяют предполагать в этом районе наличие широких планиморфных долин, которые могли наследовать положение тектонически обусловленных депрессий (рис. 2и). К бортам долин в данном районе приурочены такие акустические аномалии, связанные с процессом дегазации в осадочном чехле, как вертикальные зоны потери когерентности сигнала (рис. 2и). В водной толще наблюдались факелообразные звукорассеивающие объекты, интерпретируемые как газовые выходы (рис. 2к).

На западе участка исследований, в районе станций 4912 и 4918 врезы палеодолин осложняются формами разнообразного генезиса, предположительно, связанными с деградационными процессами в многолетнемерзлых породах и с процессами в приграничной зоне оледенения (рис. 2а, 2д, 2ж).

Станция 4139 располагается на дне Восточно-Новоземельского желоба. На правом борту закартированы системы гряд различной ориентировки, интерпретируемые как ледниковые [17]. Грядово-холмистые формы осложнены эрозионным врезом (рис. 2г). Колонка 4138 отобрана на локальном куполообразном поднятии в прибортовой части желоба.

Таким образом, для восточной части района исследований характерными формами рельефа являются палеодолины, в акустическом разрезе донных осадков выделяются палеоврезы. На сейсмограммах видны проявления дегазации в осадочном чехле типа «яркое пятно», а также формы газовых каналов, приуроченные к бортам долин, иногда с проявлением дегазации в водной толще. В западной, Приновоземельской, части отмечается роль ледникового, водно-ледникового, а также криогенного факторов в процессах седименто- и литогенеза.

Литолого-минералогическая характеристика

С учетом данных акустических исследований восемь рассматриваемых в работе осадочных колонок условно разделены на восточный и западный тип (рис. 1, 3). Восточный тип представляют колонки 4925, 4922, 4132 и 4142, западный тип – колонки 4912, 4139, 4138, 4918.

В соответствии с общепринятой литостратиграфической характеристикой Баренцево-Карского шельфа, верхний литостратиграфический комплекс (ЛСК-I) сложен однородными слабо

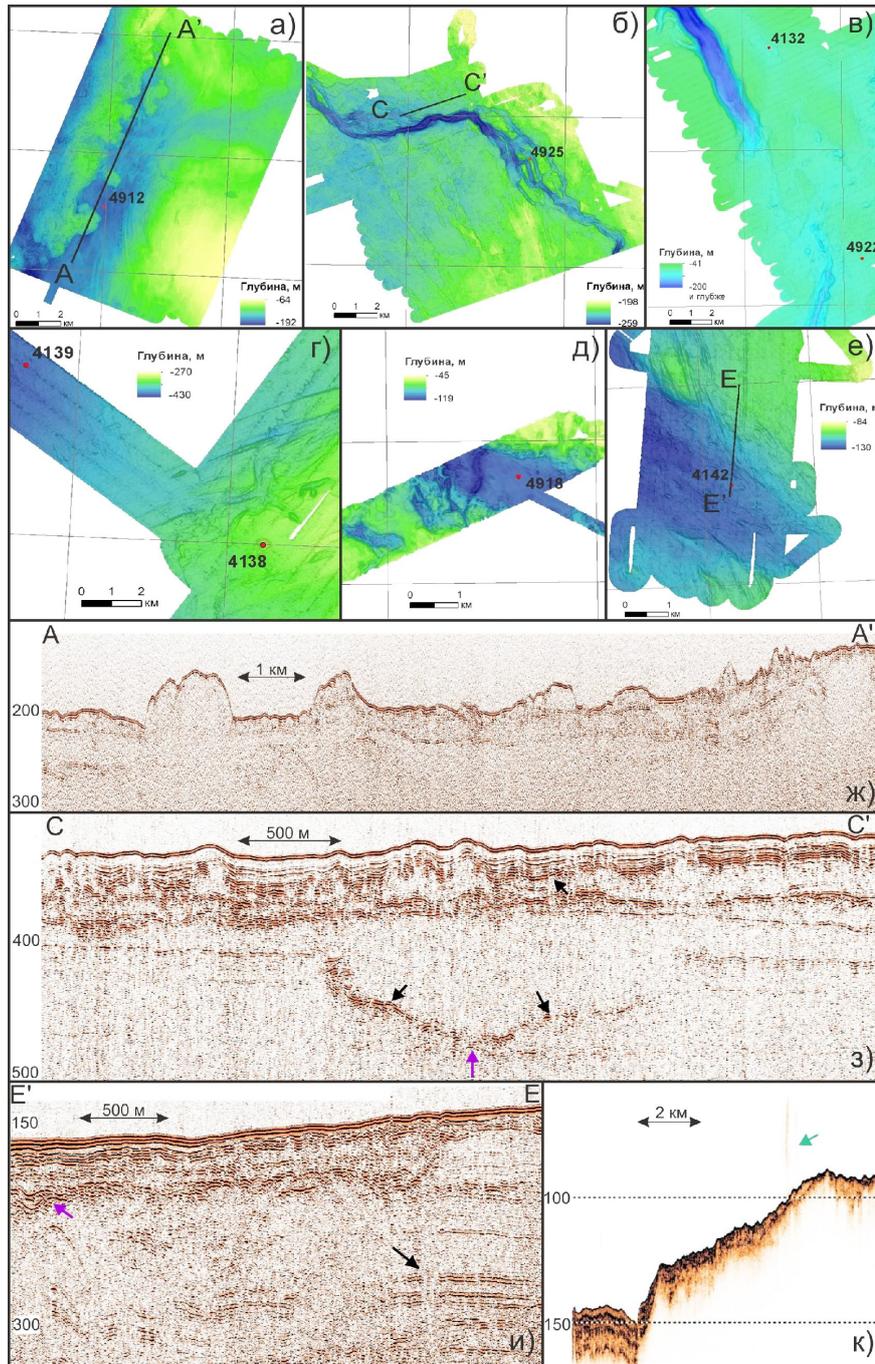


Рис. 2. А – Рельеф дна в районе станций пробоотбора в западной (а, г, д) и восточной (б, в, е) частях района исследований. Примеры акустического строения осадочного чехла вдоль профилей, показанных на рис. 2а, 2б и 2е, по данным НСАП (ж, з, и) и акустического профилографа (к). Стрелками разного цвета обозначены: эрозионные врезы (фиолетовый цвет), акустические события, связанные со скоплением свободного газа в осадочном чехле (черный цвет), корневой факелообразный ЗРО в водной толще (зеленый цвет)

консолированными осадками (илами), где соотношение в гранулометрической системе псаммит-алеврит-пелит определяется глубиной моря, рельефом дна и удаленностью от берега, т.е. соответствует морскому типу седиментогенеза.

Для осадочных последовательностей юго-западной части Карского моря характерен поверхностный окисленный слой коричневого цвета. Его мощ-

ность увеличивается от нескольких миллиметров на юге до более десяти сантиметров на севере. Нижележащие осадки имеют характерные серовато-оливковый и оливково-серый цвета. Выделяются черные примазки и прослои гидротроилита¹. Нередко для ЛСК-I отмечаются биотурбационные текстуры.

В минеральном составе всех рассматриваемых колонок абсолютно преобладает кварц. Вклад

¹Гидротроилит – минерал, $FeS \cdot H_2O$, распространен в придонных частях водоемов, природный гидрогель, существующий в восстановительной среде. Со временем переходит в пирит. Возникает в осадках при взаимодействии гидроокислов железа со свободным сероводородом.

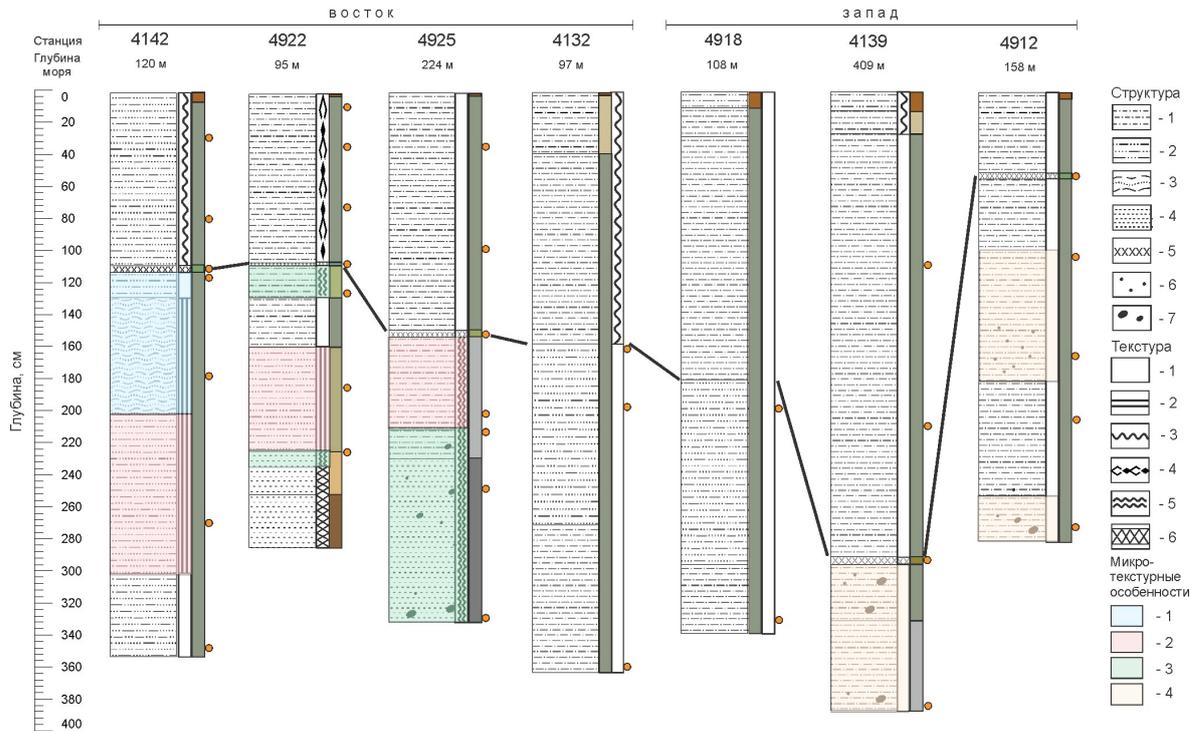


Рис. 3. Литология колонок восточной и западной части Западно-Карской области. Отмечена граница между литологически однородным верхним горизонтом и горизонтом со сменой гранулометрического состава и появлением текстурных изменений. В некоторых колонках граница маркируется хардграундом. Структура: 1 – алеврито-глинистый ил, 2 – глинисто-алевритовый ил, 3 – песчано-алевритовый ил, 4 – глина, 5 – хардграунд, 6 – песчаная примесь, 7 – крупнообломочный материал (гравий, галька). Текстура: 1 – однородная, 2 – слоистая, 3 – биотурбационная, 4 – оползневая, 5 – флюидальная, 6 – комковатая. Микротекстуры особенности: 1 – слоистость, 2 – псевдослоистость, 3 – флюидальная (восточный тип), 4 – флюидальная (западный тип). Оранжевый круг – интервал пробоотбора анализируемых образцов. Цветовые колонки схематично отображают цвет донных осадков

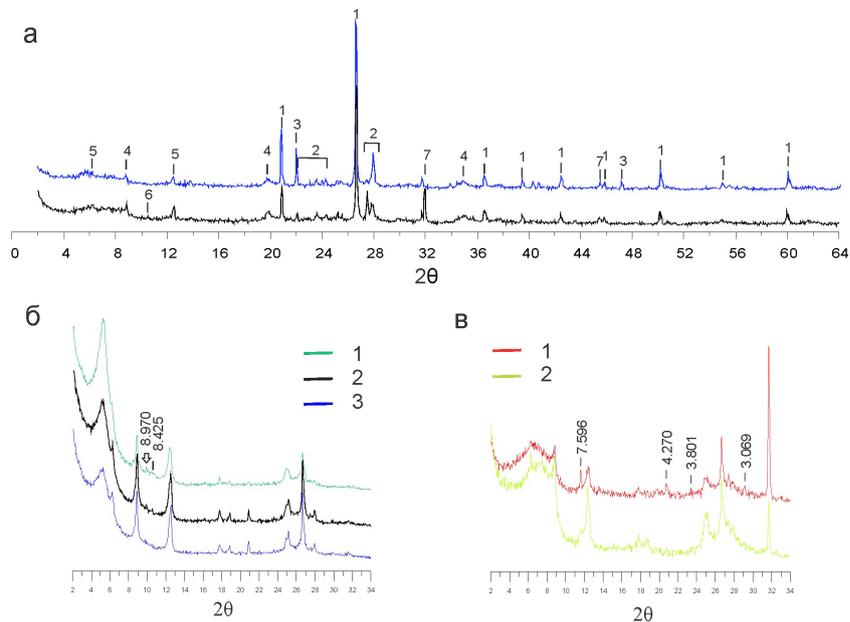


Рис. 4. Результаты рентгено-дифрактометрического анализа: а – примеры валового минерального состава образцов восточного (синий) и западного (черный) типа: 1 – кварц, 2 – полевые шпаты, 3 – кристобалит, 4 – слюда, 5 – хлорит, 6 – амфибол, 7 – NaCl. Данные экспресс-съемки тонкодисперсных (<0.001 мм) препаратов в воздушно-сухом (природном) состоянии: б – материал из интервалов с псевдослоистостью (рис. 6). Образцы: 1 – 4142_268; 2 – 4922_183; 3 – 4925_203. Стрелка – пик клиноптилолита, черта – пик амфибола; в – материал из интервалов с аутигенной гипсовой минерализацией. Образцы: 1 – 4918_215; 2 – 4132_350. На дифрактограмме отмечены пики гипса полевошпатового материала возрастает в западных образцах (рис. 4а). Обломочные зерна различной степени окатанности окружены глинистым матриком.

Ниже относительно однородного горизонта алеврит-пелитовых или пелит-алевритовых оливково-серых илов в ряде колонок выделяется ярко выраженная литологическая граница. На границе осадки

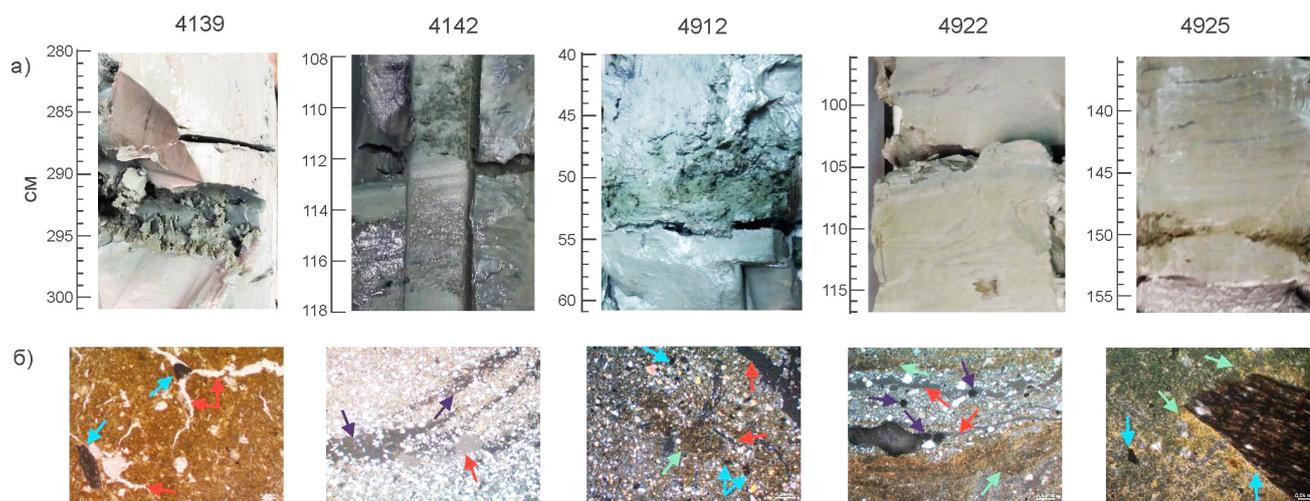


Рис. 5. а) хардграунды в осадочных колонках; б) трещинные микротекстуры и различные формы нахождения ОВ в хардграундах. Стрелками разного цвета указаны: трещинные пространства (красный цвет), твердые битуминозные агрегаты (голубой цвет), жидкие битумоиды (темно-синий цвет), изменение окраски глинистого цемента при взаимодействии с ОВ (зеленый цвет)

представлены осадочным материалом, отличающимся от прилежащих слоев незначительным ростом содержания песчаной и алевритовой фракций, комковатой текстурой, пониженной влажностью и выраженными оттенками зеленовато-оливкового цвета (рис. 5а). Ранее аналогичные границы уже обнаруживались в ядрах Западно-Карской фациальной области, определялись как кровля «ледникового» плейстоцена и условно обозначались как «сухие глины» или «хардграунды».

Отличительными чертами данного типа донных отложений в ранее опубликованных работах являлись крошащаяся алевритовая и песчанисто-алевритовая структура, комковатая текстура, обезвоженность, практически идентичный с прилежащими слоями минеральный состав и возрастание в несколько раз магнитной восприимчивости.

В работе [3] авторами перечислены существовавшие ледниково-бассейновая (уплотнение маринно-гляциальных илов под весом ледникового щита) и моренная гипотезы происхождения «сухих глин», а также описана предложенная авторами гипотеза хардграунда, когда в результате радикальной перестройки режима придонной циркуляции вертикальная составляющая возникших турбулентных придонных течений способствовала уплотнению осадков, при этом вымывались более тонкие фракции.

В 41-м и 49-м рейсах НИС «Академик Николай Страхов» хардграунды были вскрыты на пяти станциях пробоотбора. Анализ петрографических шлифов позволил выделить следующие характерные для данного слоя черты: 1) хардграундам соответствует наличие трещинных пространств (рис. 5б); 2) в нижележащем по разрезу осадке возрастает количество песчаной и алевритовой составляющей, что увеличивает проницаемость осадка; 3) в подошве слоя хардграунда отмечаются следы присутствия

углеводородов и их перемещения по проницаемым зонам, выделяются жидкие формы распространения ОВ (рис. 5б: 4142, 4922); 4) обнаруживаются твердые черные зерна, связанные с осаждением углеводородов на поверхности минеральных зерен и глинистого матрикса; вокруг них отмечается изменение цвета осадочного вещества (рис. 5б: 4139, 4925).

Таким образом, различные оттенки зеленого цвета, а также пониженная влажность осадка представляются результатом сорбирующей способности глинистого вещества при взаимодействии с углеводородами.

Минеральный состав в слое хардграундов мало отличим от выше- и нижележащих слоев, и выделить какие-либо маркеры, которые могли бы охарактеризовать отличительные особенности процессов седиментации, внутри слоя не удалось. В магнитной восприимчивости данные границы выделяются в качестве локального максимума.

Можно ли считать вскрытые в результате донного опробования хардграунды границей между голоценовыми морскими осадками и позднплейстоценовыми осадками дегляциала, которые образуют следующий ЛСК-II, основываясь на наших данных, сказать однозначно нельзя. Что касается диамиктонов, слагающих региональный ЛСК-III, то рассматриваемыми колонками они вскрыты не были.

Ниже однородных неслоистых илов ЛСК-I наблюдается смена текстур. Гранулометрически обусловленные слоистые текстуры имеют место только в северо-восточной колонке 4142, где в диапазоне 128-201 см хорошо выражена песчаная слоистость. Ниже по разрезу имеет место явление псевдослоистости, когда неравномерное распределение в осадочных породах углеводородов приводит к окрашиванию осадков в разные оттенки коричневого и серого цветов, а иногда к изменению влажности внутри окрашенного слоя, что и формирует визуальный

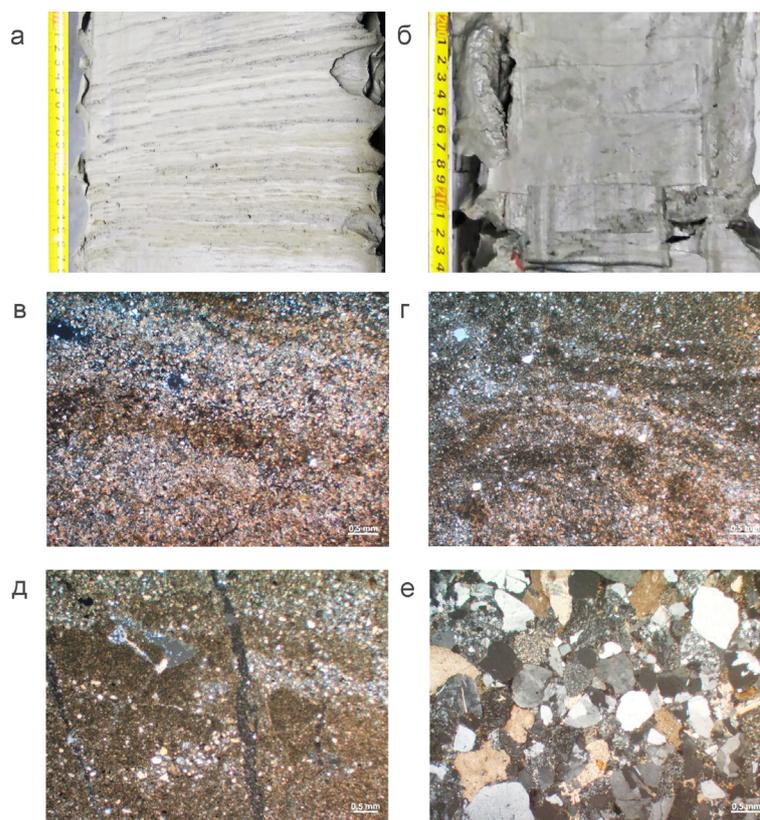


Рис. 6. Слоистая текстура в колонках 4922 (170-188 см) – а и 4925 (200-214 см) – б; проявление эффекта псевдослоистости в микротекстуре в образцах 4922_183 – в, 4925_203 – г, 4142_268 см – д; е – песчаный слой, образец 4142_177

эффект наличия слоистости при единообразии гранулометрического состава (рис. 6). Псевдослоистые зоны, отмеченные в рассматриваемых восточных колонках, в западных колонках не обнаруживаются. Таким образом, данную текстурную особенность можно считать характерной для восточного типа осадочного разреза.

По результатам рентгено-дифрактометрического исследования глинистой фракции и порошковых проб образцов зон слоистости и псевдослоистости, отмечаются небольшие пики клиноптилолита и амфибола (рис. 4б).

В восточных колонках при макроописании наблюдались горизонты с флюидальными текстурами («потокобразное» расположение составных частей осадочной массы), выраженными в цвете донного осадка (рис. 7а, б). В петрографических шлифах, отобранных из соответствующих интервалов, это выражено в наличии своеобразных рыжевато-коричневых прослоев, часто с черными прожилками (вермикулярными структурами), которые чередуются с более крупнозернистым осадком, состоящим в основном из зерен кварца различной степени окатанности (рис. 7в-е). Внутри прослоев присутствуют системы трещин, иногда с характерным окрашиванием трещинных оторочек, вызванным повышенными концентрациями ОВ в этих участках.

По данным сканирующей электронной микро-

скопии (СЭМ), в шлифе участков вещества с рыжим оттенком, содержание углерода в нем находится в диапазоне 16-22%, несколько возрастая в пределах вермикулярных структур (рис. 7ж). После высушивания зерна окрашенные глинистые прослои продолжают выделяться по цвету, становясь более темными по сравнению с песчано-алевритовыми зонами. Под бинокляром и сканирующим микроскопом проявляется «маслянистость» этих участков (рис. 7з). Таким образом, можно предполагать, что характерное окрашивание глинистое вещество приобретает при взаимодействии с ОВ. Данные структуры были обнаружены только в колонках восточного типа в слоях с флюидальными текстурами.

В западных разрезах флюидальные микротекстуры выражены иначе: за счет включений различных оттенков коричневого и черного цвета алевритовой, песчаной и гравийной размерности, иногда формирующих ориентированные «потoki» во вмещающем глинистом матриксе (рис. 8а-г). Зоны с повышенным содержанием материала глинистой размерности также могут быть вовлечены в формирование «потока» (рис. 8г). Подобные структурно-текстурные проявления указывают на подвижность осадочных слоев.

Выход зерна при пробоотборе на станции 4138 был всего 42 см, поэтому данный материал не представлен при построении литологических колонок (рис. 3). Стоит отметить, что вскрытые отложения

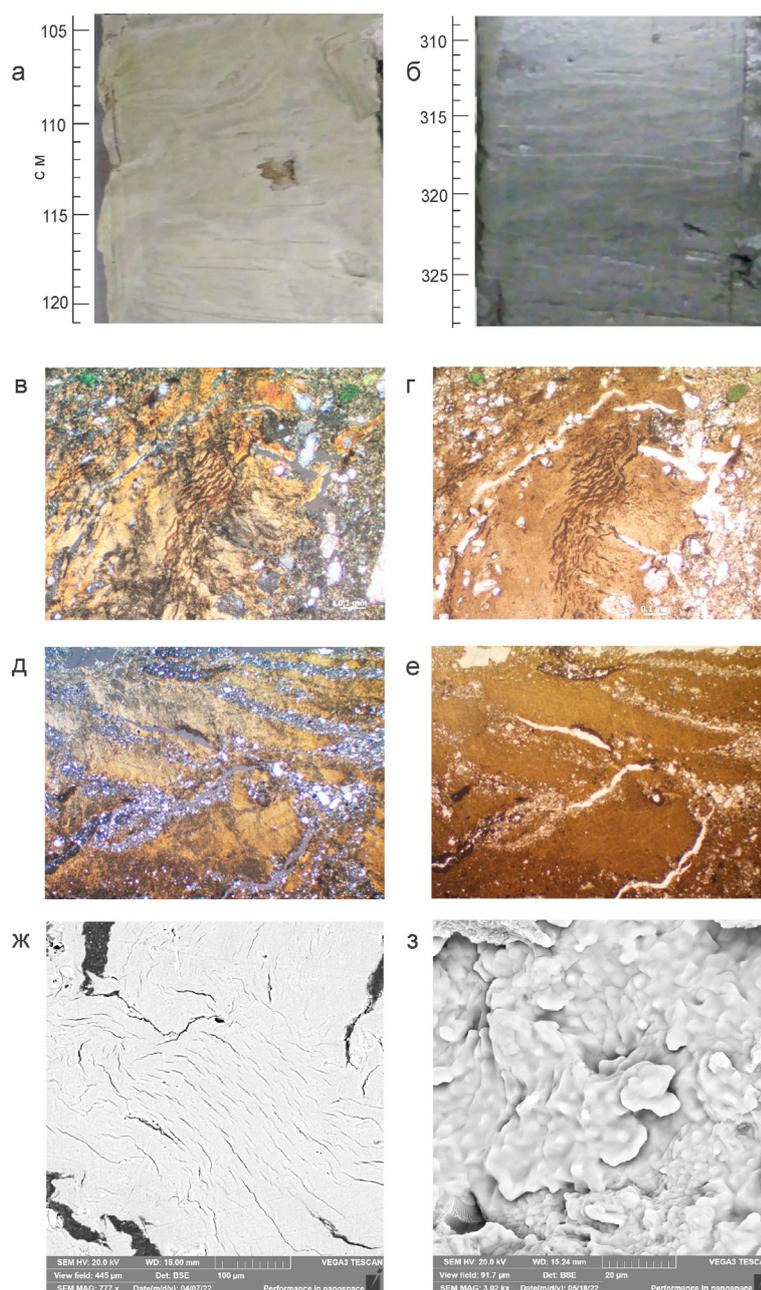


Рис. 7. Флювиальные текстуры восточного типа: в осадочных колонках 4922 (105-120 см) – а, и 4925 (309-328 см) – б. Петрографические шлифы, проходящий свет: с анализатором – в и без – г (образец 4925_330); с анализатором – д и без – е (образец 4925_213); вермикюлярные структуры (в, г) в сканирующем микроскопе – ж; «маслянистость» глинистого вещества внутри окрашенного слоя (д, е) на свежем сколе в сканирующем микроскопе – з

представлены оливково-серыми глинистыми илами со значительной примесью материала алевритовой и песчаной размерности. Встречаются полуокатанные и неокатанные обломки гравийно-галечной размерности. В петрографическом шлифе образца из данной колонки хорошо просматриваются особенности, характерные для западного типа флювиальных микротектур (рис. 8в).

Данные СЭМ темноцветных включений, описанных также на границах-хардграундах и в слоях с флювиальными текстурами восточного типа, указывают на роль углеводов в формировании данных агрегатов, которые могут включать минеральные зерна разнообразного состава и размер-

ности, склеенные и покрытые пленкой битумоида. Минеральные склейки имеют удлиненную, либо округлую форму и обладают характерным маслянистым блеском (рис. 8д, е). По данным СЭМ, в состав данных битуминозных агрегатов входит от 5 до 29% углерода, что также указывает на весьма неоднородные их состав и толщину пленки.

Предполагается, что данные агрегаты могут являться как продуктом сноса с арх. Новая Земля, для которого описаны находки природных битумов [18,19], так и образовываться после отложения осадка.

Часть рассматриваемых осадочных колонок как в восточном, так и в западном секторе, не имеет

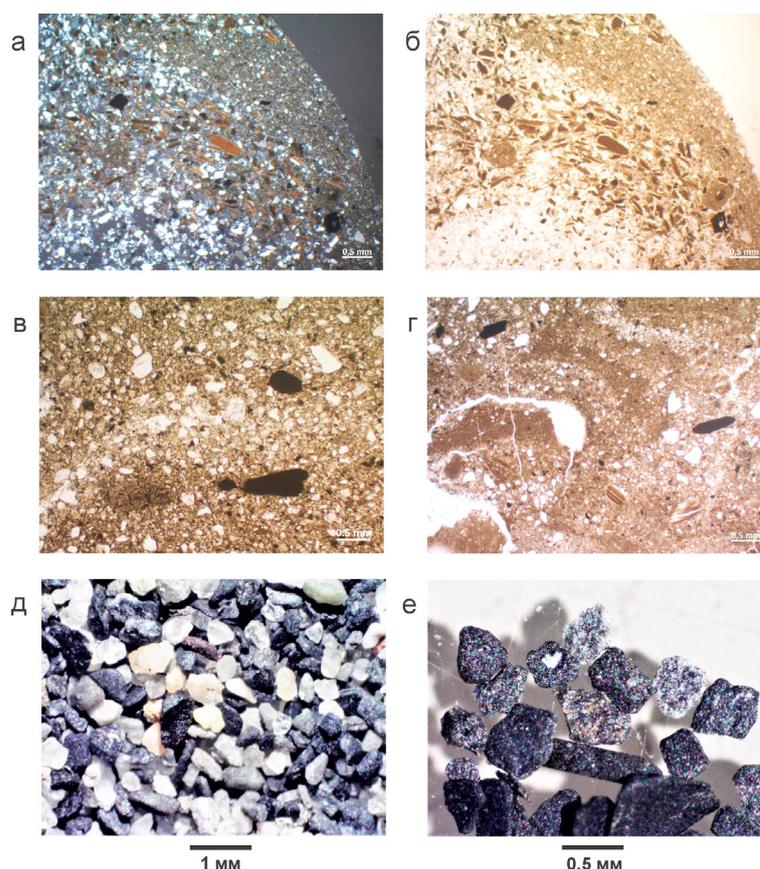


Рис. 8. Флюидальные текстуры западного типа: петрографические шлифы, проходящий свет с анализатором (а) и без (б-г). Представлены образцы: 4912_165 (а,б), 4138_20 (в), 4912_270 (г). Битуминовые агрегаты в шлихе во фракции 0.5-0.25 мм (д, е)

выраженных текстурных особенностей (рис. 3, колонки 4132, 4918). При макроописании текстуры описываются как однородные. Микроскопически и по данным исследования физических свойств донного осадка (магнитная восприимчивость, теплопроводность) ЛСК-I также достаточно однороден. Он представлен оливково-серыми алеврит-пелитовыми илами с примазками гидротроилита. Ниже по разрезу возрастает количество алевритовой и песчаной фракции, что повышает проницаемость отложений.

По данным рентген-дифрактометрического исследования глинистой фракции, в образцах как «восточной», так и «западной» колонок присутствует гипс (рис. 4в), при прокаливании появляется рефлекс ангидрита. Аутигенная гипсовая минерализация подтверждается в петрографических шлифах. Для района пробоотбора восточной колонки в приповерхностном слое осадков присутствует кристобалит (рис. 4а), что может служить индикатором современных низкотемпературных гидротермальных процессов.

Обсуждение результатов

На четвертичный этап геологической истории рассматриваемого района Карского шельфа пришлось несколько циклов трансгрессии-регрессии и чередований ледниковых и межледниковых эпох. Соответственно, следует предполагать их вклад в

формирование обстановок осадконакопления и смены источников вещества.

Описанные текстурные особенности «восточного» типа и неоднородное распределение ОБ в верхнем слое донных осадков, тяготение ОБ к зонам с повышенной пористостью и трещиноватостью дают основание предполагать его миграционное происхождение. В пользу миграции свидетельствуют жидкие формы углеводородов внутри трещинных пространств, а также пленочные и капельные структуры на глинистом цементе, рост концентрации ОБ в трещинных оторочках с изменением их окраски, наличие вермикулярных структур внутри специфически окрашенного глинистого вещества. На сейсмограммах «восточного» типа разреза видны проявления дегазации в осадочном чехле типа «яркое пятно», а также формы газовых каналов, приуроченные к бортам палеодолин, иногда с проявлением дегазации в водной толще, что может указывать на поступление глубинного углеводородного флюида в приповерхностные горизонты со скоплением легкой фракции под горизонтом однородных алеврито-пелитовых илов ЛСК-1 с формированием слоя хардграундов.

Данные исследования изотопного состава органического углерода и водорода в составе метана по геохимическим профилям, пересекающим две пингоподобные структуры на севере (диапазон глубин

моря 35-41 м) и на юге (диапазон глубин моря 30-37 м) приямальского мелководья, указывают на биогенное происхождение метана [12]. Однако группа значений с более тяжелым изотопным составом углерода (значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ от -55.1 до -62.1%), по мнению авторов, может свидетельствовать о глубинном привносе.

Выделенные в шлифах западных колонок направленные «потоки» обломочного материала алевритовой, песчаной, иногда гравийно-галечной размерности (в том числе, битуминозные агрегаты), в которые также включены сегменты, состоящие из глинистого вещества, указывают на подвижность осадочных слоев в районах пробоотбора. Данные микротекстуры могут являться маркерами перигляциальной обстановки осадконакопления [13].

Интерес для интерпретации флюидальных текстур западного типа может представлять концепция гляциодинамической литосферы, описанная Ю.А. Лаврушиным [20]. Кинематика, характерная для отложений этого типа литосферы, обусловлена смещением толщ преобразованного материала из зоны высокого в область низкого давления. Слабоконсолидированные отложения выжимаются к краю ледникового покрова с частичным выходом за его пределы в перигляциальную зону. Таким образом, наблюдаемые в окраинных и прилегающих к ним перигляциальных зонах оледенения морфоскульптуры и особенности строения осадочного чехла, возможно, связаны, по мнению автора, с «инъективными процессами». Отмечается, что «развитие инъективных процессов, обусловившее поступление на палеодневную поверхность значительного количества малоглубинного материала, позволяет рассматривать субгляциальную литосферу в качестве нетрадиционного источника материала, участвующего в строении покрова четвертичных образований» [20, стр. 67]. При этом можно предполагать диагенетические преобразования ОБ на малых глубинах под давлением ледникового щита с дальнейшим его поступлением в перигляциальную зону.

Данные акустической съемки указывают на пространственную неоднородность верхней части осадочного разреза (рис. 2ж). Однако специфичность строения рельефа и осадочного разреза в приноземельской части района исследований представляется нам результатом действия комплекса факторов (аккумулятивный, криогенный, инъективный, флювиогляциальный), который изменяется во времени и формирует процесс осадконакопления в условиях окраинной и перигляциальной зон оледенения.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ГИН РАН № FMMG-2022-0001. Сбор и обработка сейсмоакустических данных выполнялись в рамках темы госзадания ИО РАН № FMWE-2021-005.

Заключение

По данным акустической съемки, западная часть района исследований соответствует окраинной и перигляциальной зонам оледенения, геоморфологический облик района формировался под действием комплекса факторов.

В восточной части в разрезе и в рельефе преобладают палеорусловые формы. Акустические аномалии типа «яркое пятно» соответствуют бортам палеодолин как погребенных, так и выраженных в современном рельефе. На северо-востоке района исследований борта долин маркируются факелообразными звукорассеивающими объектами в водной толще.

Разница рельефообразующих процессов отражена в структурно-текстурных особенностях верхней части осадочного разреза. Слоистые текстуры и явление псевдослоистости наблюдаются только в восточной части исследуемого района. Для флюидальных текстур выделены восточный и западный типы.

Флюидальная текстура может быть выражена в цветовых макрохарактеристиках осадка (восточный тип), а также в форме ориентированных потоков обломочных частиц и битуминозных агрегатов песчаной и гравийной размерности (западный тип).

В некоторых как западных, так и восточных колонках присутствует литологическая граница типа «хардграунд» со специфическими особенностями: оливково-зелеными оттенками, пониженной влажностью и крошащейся структурой осадочного вещества, трещиноватостью внутри зоны хардграунда и присутствием различных форм распространения ОБ.

Результаты литолого-минералогических исследований указывают на существенную роль ОБ в формировании структурно-текстурных особенностей строения плейстоцен-голоценового осадочного разреза. Это выражается в следующих характерных признаках:

1) формирование эффекта псевдослоистости, когда слои осадка с пониженной влажностью и окрашиванием формируют визуальный эффект слоистости при одинаковом гранулометрическом составе соседних слоев;

2) покрытие минеральных зерен и глинистого вещества углеводородной пленкой с формированием крупнозернистых агрегатов черного и коричневого цвета;

3) формирование флюидальных текстур, внедрение ОБ в глинистое вещество с образованием трещин и вермикулярных структур.

Список литературы

1. Никифоров С.Л., Ананьев Р.А., Дмитриевский Н.Н. и др. Геолого-геофизические исследования в морях Северного Ледовитого океана в 41-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Николай Страхов» в 2019 г. // *Океанология*. 2020. Т. 60. №2. С. 334-336.
2. Никифоров С.Л., Сорохтин Н.О., Ананьев Р.А. и др. Комплексные исследования в морях Западной Арктики в 49-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в 2020 году // *Океанология*. 2021. Т. 61. №3. С. 498-500.
3. 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.
4. Ласточкин А.Н. Подводные долины северного шельфа Евразии // *Известия Всесоюзного географического общества*. 1977. Т. 109. №5. С. 412-417.
5. Павлидис Ю.А. Палеогеография и оледенение арктического шельфа в позднем плейстоцене // *Океанология*. 1997. Т. 37. №6. С. 910-914.
6. Patton H., Hubbard A., Andreassen K. et al. Deglaciation of the Eurasian ice sheet complex. *Quaternary Science Reviews*. 2017. V. 169. Pp. 148-172.
7. Гайнанов В.Г., Поляк Л.В., Гатауллин В.Н., Зверев А.С. Сейсмоакустические исследования следов покровных оледенений в Карском море // *Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология*. 2005. №1. С. 38-44.
8. Рекант П.В., Васильев А.А. Распространение субаквальных многолетнемерзлых пород на шельфе Карского моря // *Криосфера Земли*. 2011. Т. 25. №4. С. 69-72.
9. Portnov A., Smith A.J., Mienert J. et al. Offshore permafrost decay and massive seabed methane escape in water depths >20m at the South Kara Sea shelf. *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40. Pp. 3962-3967.
10. Перлова Е.В., Микляева Е.С., Леонов С.А. и др. Газовые гидраты полуострова Ямал и прилегающего шельфа Карского моря как осложняющий фактор освоения региона // *Вести газовой науки*. 2017. №3 (31). С. 255-262.
11. Семенов П.Б., Крылов А.А., Илатовская П.В. и др. Геохимические особенности миграции метана при деградации субаквальной мерзлоты (на примере приямальской части Южнокарского шельфа) // 70 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. Сборник научных трудов (под ред. В.Д. Каминского, Г.П. Аветисова, В.Л. Иванова). СПб.: ВНИИОкеангеология. 2018. С. 483-491.
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). Pp. 1515-1529.
13. Meer van der, J.J.M., Menzies J. The micromorphology of unconsolidated sediments. *Sedimentary Geology*. 2011. V. 238. Pp. 213-232.
14. Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I., et al. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia. *Quaternary Science Reviews*. 2004. Vol. 23. Pp. 1229-1271.
15. Гусев Е.А., Костин Д.А., Рекант П.В. Проблема генезиса четвертичных образований Баренцево-Карского шельфа (по материалам Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000) // *Отечественная геология*. 2012. №2. С. 84-89.
16. Мусатов Е.Е., Соколов Г.Н. Геоморфология Южно-Карского шельфа // *Геоморфология*. 1992. №2. С. 85-91.
17. Никифоров С.Л., Сорохтин Н.О., Ананьев Р.А. и др. Рельеф дна и строение верхней осадочной толщи западной части шельфа Карского моря в районе формирования нефтегазовых месторождений // *Нефтяное хозяйство*. 2022. №8. С. 46-50.
18. Клубов Б.А., Кораго Е.А. О природе жидких битумов севера Новой Земли // *Докл. АН СССР*. 1990. Т. 315. №4. С. 1143-1147.
19. Клубов Б.А., Безруков В.М. Антракосолиты Новой Земли // *Сов. Геология*. 1992. №4. С. 22-30.
20. Лаврушин Ю.А. Основы современной концепции строения и формирования отложений краевых образований плейстоценовых ледниковых покровов // *Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода*. М.: ГЕОС. 2021. №79. С. 38-70.

References

1. Nikiforov S.L., Ananiev R.A., Dmitrevskiy N.N. et al. Geological and geophysical studies on cruise 41 of the R/V Akademik Nikolaj Strakhov in Arctic seas in 2019. *Okeanologiya*. 2020. V. 60. No. 2. Pp. 334-336.
2. Nikiforov S.L., Sorokhtin N.O., Ananiev R.A. et al. Comprehensive research in the Western Arctic seas on cruise 49 of the R/V Akademik Nikolay Strakhov in 2020. *Okeanologiya*. 2021. V. 61. No. 3. Pp. 498-500.
3. Levitan M.A., Khusid T.A., Kuptsov V.M., et al. Upper Quaternary sedimentary sequence types in the Kara sea. *Okeanologiya*. 1994. V. 34. No. 5. Pp. 776-788.
4. Lastochkin A.N. Underwater valleys of the northern shelf of Eurasia. *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*. 1977. V. 109. No. 5. Pp. 412-417.
5. Pavlidis Yu.A. Paleogeography and Glaciation of the Arctic Shelf During Late Pleistocene. *Okeanologiya*. 1997. V. 37. No. 6. Pp. 910-914.
6. Patton H., Hubbard A., Andreassen K. et al. Deglaciation of the Eurasian ice sheet complex. *Quaternary Science Reviews*. 2017. V. 169. Pp. 148-172.
7. Gaynanov V.G., Polyak L.V., Gataullin V.N., Zverev A.S. Seismoacoustic investigations of traces of sheet glaciation in the Kara sea. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya*. 2005. No. 1. Pp. 38-44.
8. Rekant P.V., Vasiliev A.A. Offshore permafrost in the Kara sea. *Kriosfera Zemli*. 2011. V. 25. No. 4. Pp. 69-72.
9. Portnov A., Smith A.J., Mienert J. et al. Offshore permafrost decay and massive seabed methane escape in water depths >20m at the South Kara Sea shelf. *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40. Pp. 3962-3967.
10. Perlova E.V., Miklyaeva E.S., Leonov S.A. et al. Gas hydrates within the Yamal Peninsular and adjoining Kara Sea continental shelf as a negative factor of the Yamal region exploration. *Vesti gazovoy nauki*. 2017. No. 3 (31). Pp. 255-262.
11. Semenov P.B., Krylov A.A., Ilatovskaya P.V. et al. *Geokhimicheskiye osobennosti migratsii metana pri degradatsii subakval'noy merzloty (na primere priyamal'skoy chasti Yuzhnokarskogo shel'fa)* [Geochemical features of methane migration during degradation of subaqueal permafrost (the example of the Near-Yamal part of the South Kara shelf)]. 70 years in the Arctic, Antarctic and the World Ocean. Collection of scientific works (edited by V.D. Kaminsky, G.P. Avetisov, V.L. Ivanov). SPb.: VNIIOkeangeology. 2018. Pp. 483-491.

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). Pp. 1515-1529.
13. Meer van der, J.J.M., Menzies J. The micromorphology of unconsolidated sediments. *Sedimentary Geology*. 2011. V. 238. Pp. 213-232.
14. Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I., et al. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia. *Quaternary Science Reviews*. 2004. Vol. 23. Pp. 1229-1271.
15. Gusev E.A., Kostin D.A., Rekant P.V. Problems of genetic identification of Barents-Kara shelf Quaternary deposits (new results from state geological mapping of Russia in 1 000 000 scale). *Otechestvennaya geologiya*. 2012. No. 2. Pp. 84-89.
16. Musatov E.E., Sokolov G.N. Geomorphology of the southern Kara shelf. *Geomorfologiya*. 1992. No. 2. Pp. 85-91.
17. Nikiforov S.L., Sorokhtin N.O., Anan'ev R.A. et al. Seabed relief and shallow sedimentary structure of the western part of the Kara Sea in the oil and gas fields area. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2022. No. 8. Pp. 46-50.
18. Klubov B.A., Korago E.A. Nature of liquid bitumens of the northern Novaya Zemlya. *Dokl. AN SSSR*. 1990. V. 315. No. 4. Pp. 1143-1147.
19. Klubov B.A., Bezrukov V.M. Anthraxolites of the Novaya Zemlya. *Sov. Geologiya*. 1992. No. 4. Pp. 22-30.
20. Lavrushin Yu.A. The basics of the modern concept of the study «morphology and formation of marginal deposits of Pleistocene glaciers». *Bulletin of the Commission for Study of the Quaternary*. M.: GEOS. 2021. No. 79. Pp. 38-70.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Сухих Елена Александровна

научный сотрудник, Геологический институт РАН, 119017, Москва, Россия

Чикирёв Игорь Владимирович

кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой геологии и полезных ископаемых Мурманского арктического университета, 183010, Мурманск, Россия

Ананьев Роман Александрович

старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Россия

Мороз Евгений Андреевич

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Геологический институт РАН, 119017, Москва, Россия

Мутовкин Александр Дмитриевич

ведущий инженер, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Россия

Сорохтин Николай Олегович

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Россия

Соколов Сергей Юрьевич

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, зав. лаб., Геологический институт РАН, 119017, Москва, Россия

Information about authors
Affiliations

Sukhikh Elena Alexandrovna

Researcher, Geological Institute RAS, 119017, Moscow, Russia

Chickiryov Igor Vladimirovich

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor, Head of the Department of Geology and Mineral Resources of Murmansk Arctic University, 183010, Murmansk, Russia

Ananiev Roman Alexandrovich

Senior Researcher, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, 117997, Moscow, Russia

Moroz Evgeniy Andreevich

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Geological Institute RAS, 119017, Moscow, Russia

Mutovkin Alexander Dmitrievich

Leading Engineer, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, 117997, Moscow, Russia

Sorokhtin Nikolay Olegovich

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading scientific Researcher, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, 117997, Moscow, Russia

Sokolov Sergei Yurievich

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading scientific Researcher, Geological Institute RAS, 119017, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 10.11.2023 г.