

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧАСТКА ЛЕДОВОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

А. Г. Казанин, В. Ю. Сладкомедова, Т. В. Артамонова

АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (МАГЭ),
Россия, 121609, Москва, ул. Осенняя, д. 11,
e-mail: info@mage.ru,
sladkomedova.vu@mage.ru,
tatyana.artamonova@mage.ru

В работе представлен анализ рельефа дна Ледового месторождения Баренцева моря на основе результатов инженерных изысканий. Одними из основных методов изысканий для получения сведений о рельефе дна являлись многолучевое эхолотирование и гидролокация бокового обзора. Описана методика получения и обработки данных, а также представлен сравнительный анализ батиметрии и модели гидролокации бокового обзора. В результате анализа была описана морфология дна, а также выделены основные формы рельефа: борозды ледового выпахивания U-образного и V-образного типов, изометричные углубления на дне, палеодолина. Выявлено, что борозды выпахивания имеют преимущественно северо-западную ориентацию, глубина их залегания и морфология могут указывать на «палеогеографическое» происхождение. Общая модель гидролокации дна позволила выделить как локальные, преимущественно техногенные, объекты на дне (траповые борозды), так и объекты естественного происхождения (скопления валунов). Полученные данные являются важнейшей информацией при проектировании инженерно-технических сооружений на месторождении.

Ключевые слова: Баренцево море, борозды ледового выпахивания, гидролокация бокового обзора, изометричные объекты, изометричные углубления, многолучевое эхолотирование, палеодолина, сонограммы

Введение

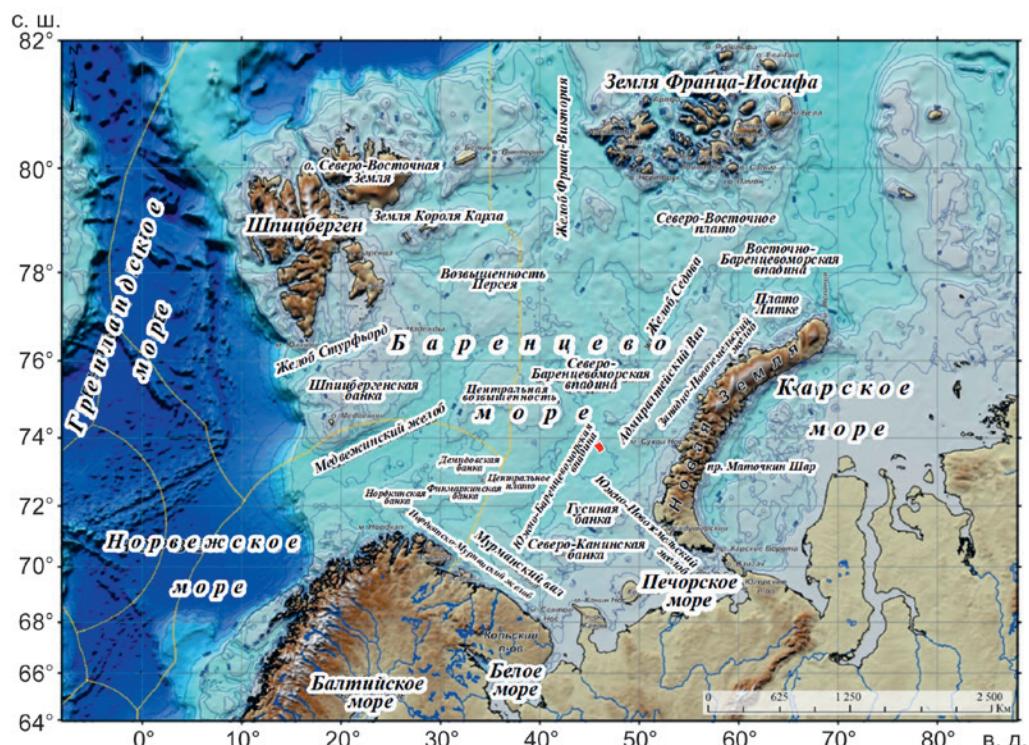
Инженерные изыскания в Баренцевом море проводились компанией ОАО «МАГЭ» в 2018 г. с целью комплексного изучения инженерных условий площадки поисково-оценочной скважины. Полевые работы включали инженерно-геофизические исследования: сейсморазведка высокого разрешения (СВР), многолучевое эхолотирование (МЛЭ), гидролокация бокового обзора (ГЛБО) и магнитометрия. Анализ рельефа в данной статье основан на полученных результатах ГЛБО и МЛЭ. Работы выполнялись на НИС (научно-исследовательское судно) «Профессор Куренцов» и ИС (исследовательское судно) «Аквамарин».

Физико-географическая характеристика района

Исследуемая площадь (рисунок 1) находится на территории Ледового газоконденсатного месторождения (КГМ) и расположена в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в центральной части континентального шельфа Баренцева моря. Удаленность от порта Мурманск – 740 км, от арх. Новая Земля – 240 км, от порта Архангельск – 1050 км. Площадь района работ достигает 50 км², размеры площадки изысканий – 5×10 км. Глубины моря в пределах участка составляют от 200 до 300 метров.

В районе Ледового ГКМ температура воды колеблется в зависимости от сезона и глубины погружения. Так, в августе–сентябре, когда отмечается максимальный прогрев поверхностного слоя (в пределах 0–50 м), температура воды достигает 10 °С. Глубже подобная температура наблюдается в октябре–ноябре, в результате действующего конвективного перемешивания. Минимальные значения отмечаются зимой, когда температура поверхностного слоя равна –1.6 °С. Температурный диапазон уменьшается с глубиной: от –1.6÷10.2 °С на поверхности до 11.6÷3.2 °С в придонном слое (глубже 300 м) (Строительство разведочной скважины № 4..., 2021).

Дно Баренцева моря можно охарактеризовать как сложнорасчлененную подводную равнину с небольшим уклоном в западном направлении. Обзорная морфологическая схема представлена на рисунке 1. Исследуемая площадка расположена в пределах крупной региональной Лудловской седловины, разделяющей Северо- и Южно-Баренцевоморские впадины и приподнятой относительно них.



Методика работ и обработка данных

Многолучевая батиметрическая съемка

Съемка рельефа морского дна вдоль линии проектных профилей выполнена с помощью многолучевого эхолота Teledyne SeaBat Reson 7111. Эхолот состоит из трех основных блоков: приемной и излучающей антенны, установленных на штангу, блока трансивера (управляющего блока) и процессора с программным обеспечением Reson. МЛЭ также оснащен измерителем скорости звука Reson SVP-70.

Для обеспечения высокой точности многолучевой съемки использовалась инерциальная навигационная система (ИНС) Hydrins III. Данная система определяет перемещение судна в пространстве относительно осей XYZ, а также определяет и значения углов за крен, направление и дифферент. Данные с ИНС в режиме реального времени поступают на процессор эхолота и в программное обеспечение QINSy.

Сбор данных МЛЭ в системе QPS QINSy осуществляется так, что значения наклонных дальностей с каждого луча эхолота записываются напрямую в базу данных программы. В онлайн-режиме происходит применение к полученным данным значений датчика угловых и вертикальных перемещений, а также значений курсового угла судна, который определяет правильную ориентацию антенн МЛЭ в пространстве. Оператор комплекса при проведении съемки отслеживал корректность работы многолучевого эхолота при помощи контроллера. При этом оператор контролировал качество данных, полосу покрытия и, в случае необходимости, производил подстройку комплекса для получения наилучшего результата. Во время работы на профиле оператор дополнительно контролировал заполнение матрицы глубин и отсутствие пропусков в записи.

Гидролокация бокового обзора

Гидролокация бокового обзора обеспечивает получение изображения морского дна с высокой разрешающей способностью с обеих сторон от линии движения судна. На акустическое изображение попадают объекты, находящиеся на поверхности дна или в толще воды и попавшие в полосу обзора ГЛБО.

ГЛБО позволяет получать относительные превышения объектов на дне, на основе которых могут быть приблизительно оценены высоты объектов, при этом исследование не дает абсолютных высот донных объектов. Гидролокация позволяет получать детальную акустическую картину дна, называемую сонограммой (sonogram) или акустическим изображением. Данные, записанные в цифровом виде, объединенные с промерным эхолотом, применяются при выполнении высокоточной батиметрической съемки.

Гидролокационное обследование выполнялось комплексом, который включал в себя: гидролокатор бокового обзора Klein Sonar Series 3000, набортный блок электроники (TPU), ноутбук с программой сбора данных SonarPro.

В соответствии с требованиями выполнения работ выбирается оптимальная полоса обзора в каждую сторону. ГЛБО заглубляется до коридора глубины, составляющего 10–12 % от ширины полосы обзора. На тестовых профилях подбираются настройки излучения сонара (гидролокатора). Регистрация данных ведется одновременно на нескольких частотных диапазонах.

Позиционирование гидролокатора осуществляется системой подводного позиционирования (USBL iXBlue GAPS-4G), с дополнительным использованием гидроакустического маяка-ответчика. Навигационная программа обрабатывает и фиксирует полученные оффсеты антенны.

После каждого профиля сонарные файлы записывались на носитель и подвергались первичной обработке данных обработчиком, составлялись каталоги целей и предварительная «мозаика» для определения покрытия площади изысканий.

Рельеф и особенности морского дна района работ

Анализ данных МЛЭ

На основе анализа данных, полученных эхолотом, можно сказать, что рельеф на исследуемой Ледовой площадке неоднородный (рисунок 2).

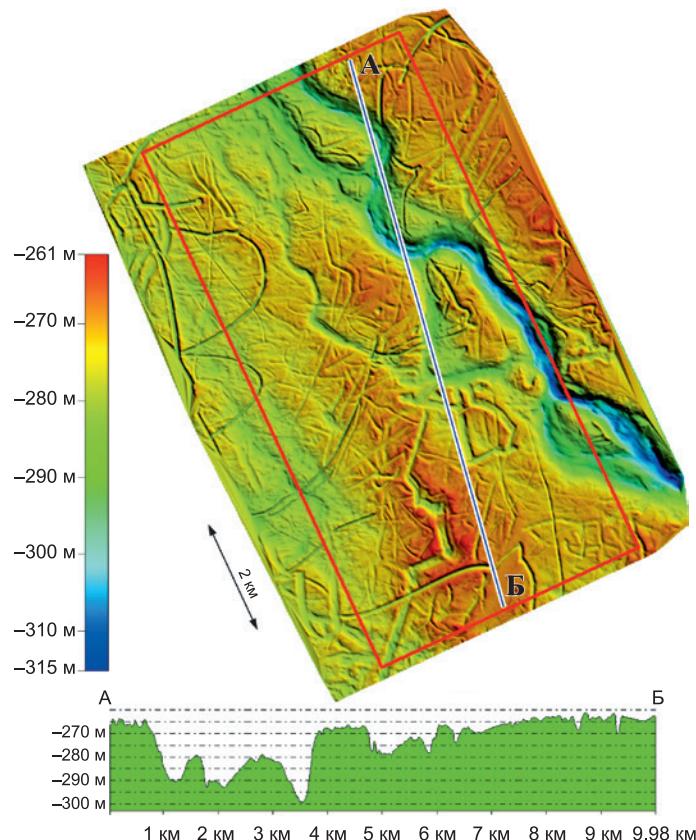


Рис. 2 – Карта-схема рельефа дна площадки

Глубина моря здесь варьируется от 261 до 316 м. Уклон морского дна в среднем не превышает 0.08 градуса. На поверхности морского дна в северо-восточной и восточной частях площади привлекает внимание субмеридионально ориентированная долина (палеодолина), выраженная в рельефе. Наблюдаются также линейные отрицательные формы мезорельефа меньшего размера в разных направлениях, интерпретируемые как изометричные углубления и борозды ледового выпахивания. На исследуемом участке было выделено более 450 объектов различной морфологии (Строительство разведочной скважины № 3..., 2021).

Борозды ледового выпахивания. В результате многочисленных научно-исследовательских российских и зарубежных экспедиций установлено значительное количество следов воздействия дрейфующих ледяных образований на дно арктического шельфа (Зайончек, Брекке и др., 2010; Миронюк, Иванова и др., 2018; Никифоров, Ананьев и др., 2019; Рыбалко, Миронюк и др., 2020; Lambeck, Yokoyama et al., 2000; Solheim, 1997). За основу анализа рельефа взята детализированная и модернизированная морфогенетическая классификация форм и типов рельефа северных морей (Nikiforov, 2010). К одной из такой классификации можно отнести борозды ледового выпахивания, обнаруженные на различных глубинах, отличающиеся по своему строению, морфометрическим параметрам и происхождению.

Рассматриваемые борозды на дне Баренцева моря, а также на изучаемой площади, можно разделить на реликтовые и современные. Такое же мнение можно проследить у ряда ученых (Никифоров, Ананьев и др., 2019; Миронюк, Иванова и др., 2018). Полагая, что к современным типам относятся борозды, залегающие на глубинах 120–140 м, а к реликтовым типам те, что находятся на глубине более 200 м. При этом допускается обнаружение современных борозд на глубинах до 180 м.

Формирование борозд на глубинах выше 200 м, их хаотичная ориентация говорит, скорее всего, о воздействии палеоайсбергов в послеледниковое время. Борозды, выявленные на глубинах более 300 м, вероятно, образовались в момент распада ледникового щита, и последующий подъем уровня моря исключил воздействие айсбергов на этом участке (Мазнев, Кокин и др., 2023).

Современные борозды характеризуются также четкими очертаниями и V-образным поперечным профилем, тогда как реликтовые имеют плавные очертания и U-образный профиль (Мазнев, Кокин и др., 2023). Последний тип объясняется сглаживанием процессов седиментации и эрозии (Рыбалко, Миронюк и др., 2020).

В пределах участка Ледового ГКМ выделено около 425 борозд. Такие формы рельефа имеют ширину от 21 м до 199 м, длину от 65 м до 8572 м, при средней глубине от 0.04 м до 10 м. В углублениях и бороздах ледового выпахивания углы наклона дна местами могут достигать 30°.

Борозды имеют форму поперечного сечения, в основном U-образную. Также отмечаются формы близкие к V-образным, при этом со «сглаженным» поперечным профилем (рисунки 3а, 3в) (Строительство разведочной скважины № 3..., 2021). Подобные формы рельефа также встречаются в акватории Белого моря (Левченко и др., 2018).

Края борозд выпахивания обрамлены небольшими бортиками обваловки высотой в среднем до 1.5 м. Чаще всего один из бортиков немного выше другого, в результате форма борозды приобретает асимметричную форму (рисунок 3а) (Строительство разведочной скважины № 3..., 2021). Также отмечаются в рельефе две практически параллельные борозды, образованные, вероятно, вследствие выпахивания двукилевым айсбергом (палеоайсбергом) (рисунок 3б).

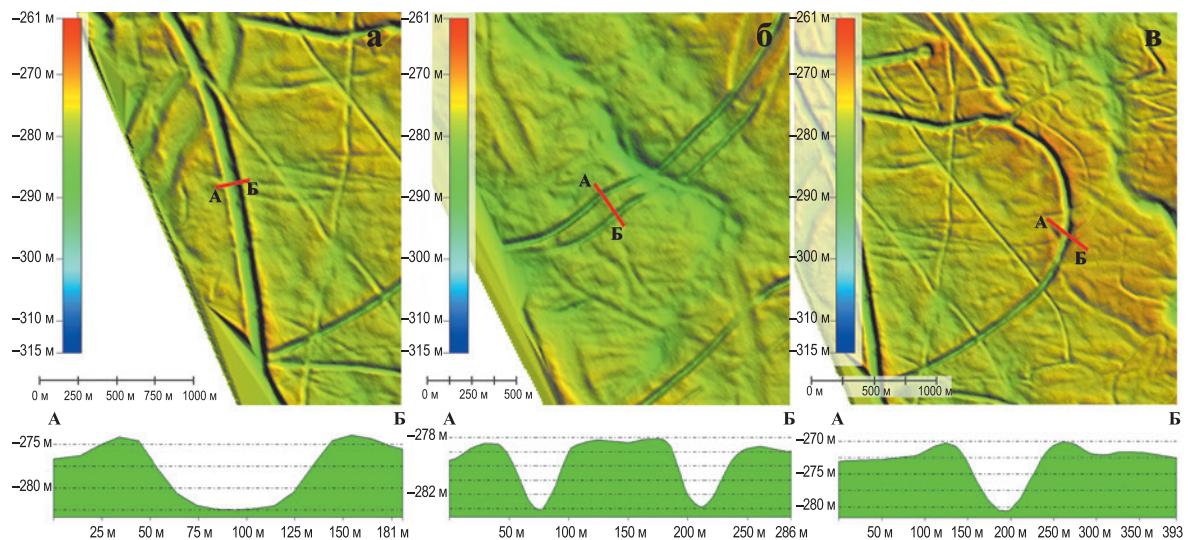


Рис. 3 – Формы борозд ледового выпахивания: **а** – U-образное выпахивание с характерными бортиками обваловки; **б** – борозды, образованные выпахиванием двукилевым палеоайсбергом; **в** – V-образное выпахивание

Представленные результаты МЛЭ показывают четко выраженные борозды выпахивания преимущественно северо-западной ориентации. Наибольшее количество борозд встречается на глубине около 275 м (рисунок 4).

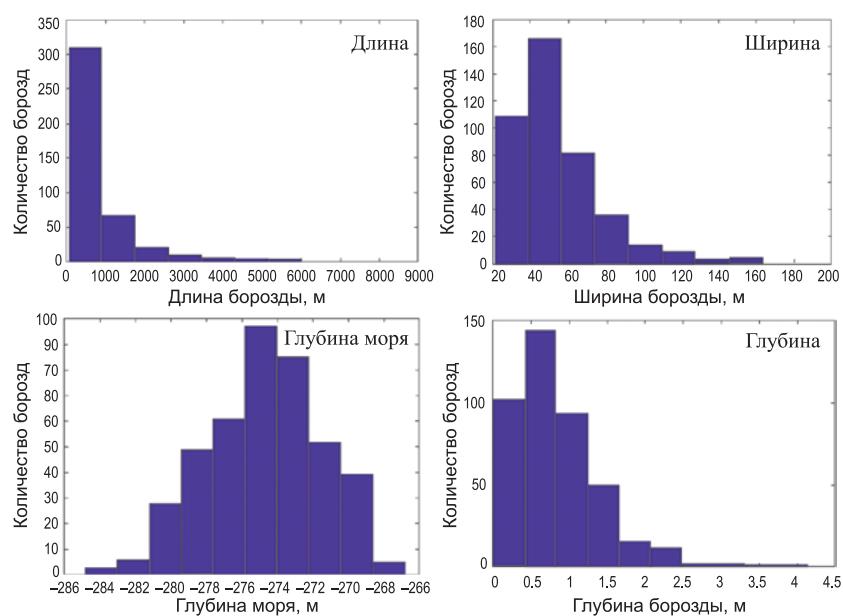


Рис. 4 – Гистограммы параметров выделенных борозд выпахивания

Таким образом, основываясь на преимущественной глубине залегания и морфометрических параметрах, описываемые борозды ледового выпахивания на изучаемой площадке можно отнести к реликтовым.

Изометричные углубления, характерные для начала или окончания борозды. Также на исследуемой области можно выделить отдельные морфологические типы рельефа: локальные отрицательные формы, образующиеся в начале или конце воздействия ледовых выступов на морское дно – изометричные углубления (рисунок 5) (Строительство разведочной скважины № 4..., 2021). Встречаются они на глубинах более 270 м.

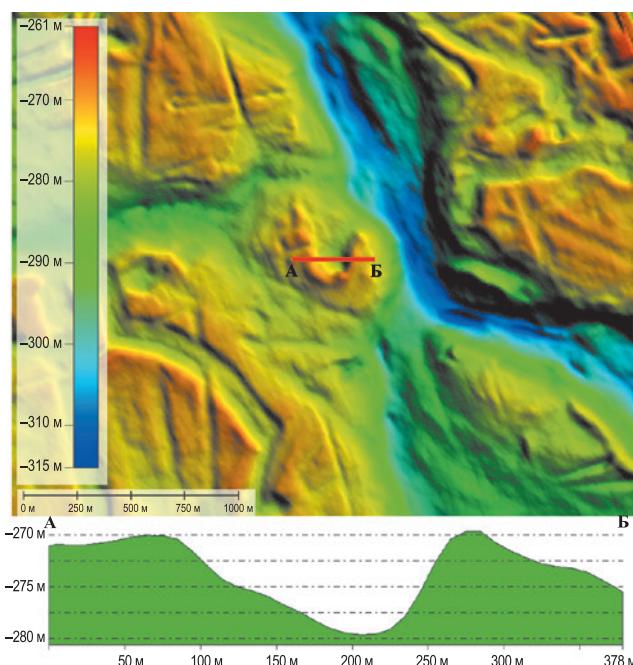


Рис. 5 – Изометричные углубления

Такие непротяженные формы характеризуются достаточно разнообразным строением. Подобные формы широко распространены не только на шельфах арктических морей, но также встречаются и в низовьях рек (обнаружены в нижнем течении р. Обь). На исследуемом участке выделяются округлые углубления, имеющие характерную изометрическую форму в плане. Диаметр форм меняется от 56 до 168 м, глубина варьирует от 1.5 м до 10 м (рисунок 5).

Опираясь на критерии генезиса борозд выпахивания (глубина залегания), можно предположить, что обнаруженные изометричные углубления также относятся к реликтовым.

Палеодолина. Палеодолины как отрицательные формы рельефа выделены на территории Баренцева моря российскими и зарубежными авторами (Bell, Cooper, Solheim et al., 2016), имеют следующие морфологические формы:

1. U-образные палеодолины (троговые, корытообразные);
2. V-образные палеодолины;
3. Палеодепрессии различного генезиса.

Первый тип подводных долин имеет четко выраженное U-образное поперечное сечение с крутыми и параллельными бортами, а также почти плоское дно. По мнению отдельных ученых, на формирование U-образных или троговых долин воздействовала выпахивающая деятельность ледников позднечетвертичного периода (Bell, Cooper, Solheim et al., 2016). Корытообразные долины могут иметь речное происхождение, когда донная эрозия меняется на боковую при достижении более устойчивого слоя к эрозии (Геоморфологический словарь-справочник, 2002). К рассматриваемому типу палеодолин также относят долины туннелеобразные, образование которых, вероятно, связано с эродирующим воздействием талых вод, которые накапливались в нижних слоях ледника при его отступании. Такие структуры характеризуются резким изменением глубины залегания тальвега, вытянутой и извилистой формой в плане (Замотина и др., 2023).

Палеодолину, выраженную в рельефе дна исследуемой площади, можно охарактеризовать отрицательными и плавными криволинейными формами рельефа (рисунок 6). Ширина долины варьирует от 110 м до 620 м, а глубина достигает 40 м. В поперечном сечении данная форма рельефа имеет ярко выраженную U-образную форму с крутыми бортами и относительно плоским днищем, что является особенностью долин, образованных в процессе деградации ледникового покрова на разных стадиях позднечетвертичного периода (Строительство разведочной скважины № 4..., 2021).

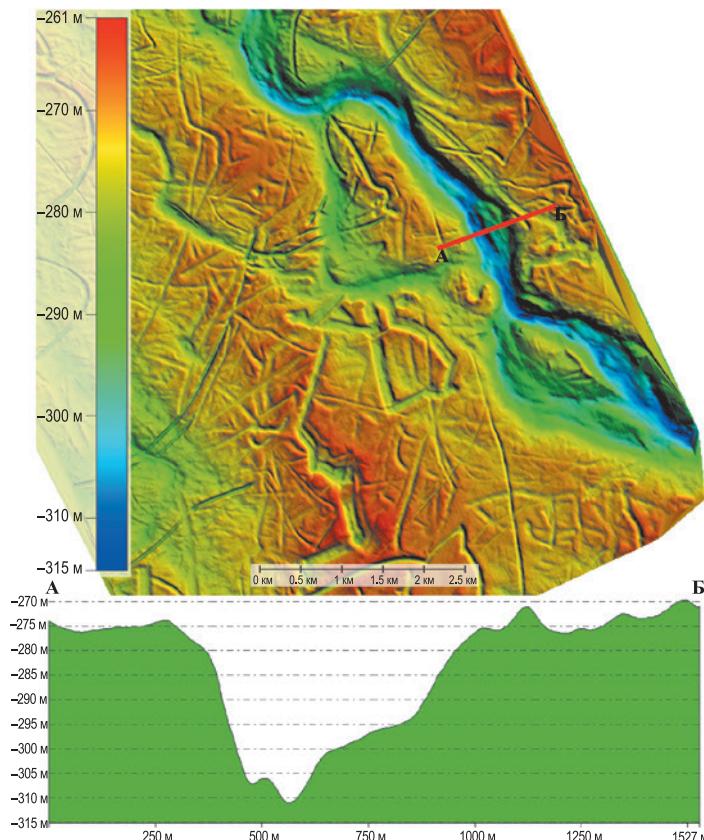


Рис. 6 – Палеодолина с неровным днищем

Анализ данных ГЛБО

Основными задачами интерпретации данных гидролокации бокового обзора являются картографирование типов осадков, слагающих морское дно, и характеристика подводных ландшафтов, а также составление каталога найденных объектов (целей) на дне. Для этого на обработанных и составленных в мозаики сонограммах выделяются однородные области со схожим акустическим изображением дна.

При построении мозаичного изображения производился последовательный монтаж множества смежных сонограмм по всей площадке (рисунок 7). При монтаже мозаичного изображения выбирается только один (правый или левый) борт для «освещения» дна в одном направлении. Это необходимо для однозначного восприятия рельефа дна. Далее производилась конвертация полученного мозаичного изображения в растровый формат (GeoTIFF).

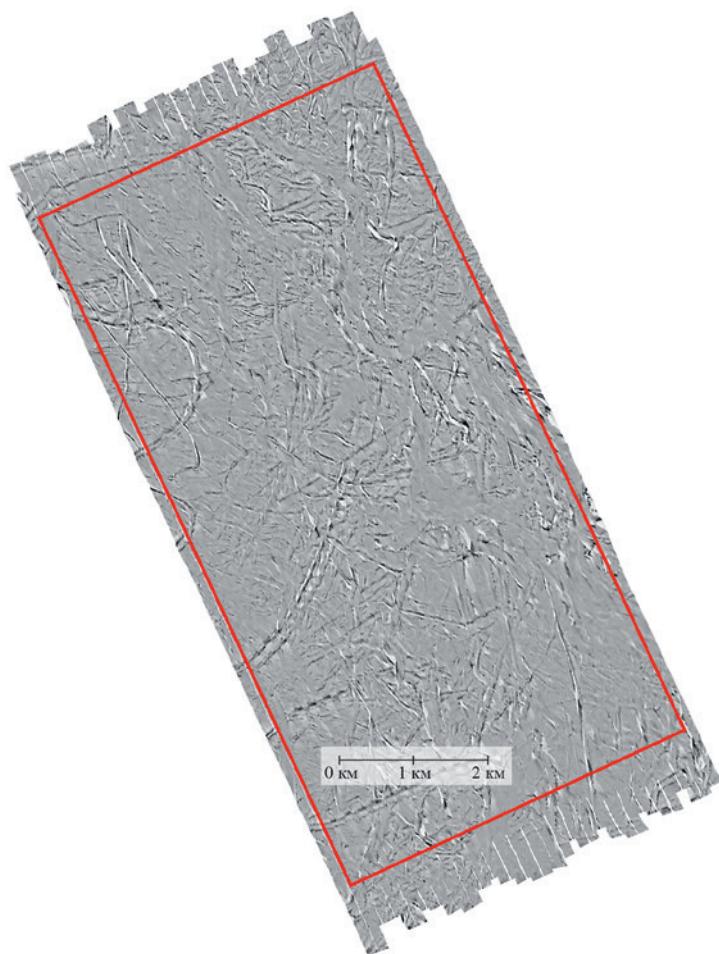


Рис. 7 – Полученное изображение с гидролокатора бокового обзора

Выделение целей на дне производится по каждому профилю. Использовались как низкочастотные данные (100 кГц), так и высокочастотные (400 кГц). Осуществлялся контроль взаимного расположения объектов, находящихся на смежных галсах (контроль сходимости). По результатам анализа сонограмм ГЛБО в исследуемом

районе был выделен 321 объект. Обнаруженные объекты имеют разные размеры и различную интенсивность обратного рассеивания. Затем составляется каталог выделенных объектов (пример на рисунке 8).

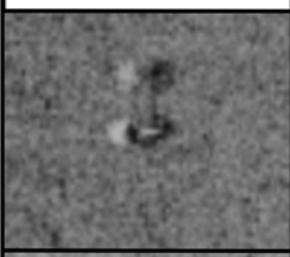
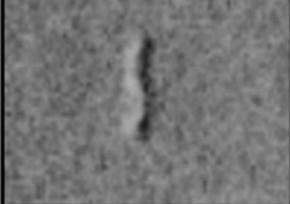
Изображение	Номер цели	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Интерпретация, м
	225	2,5	3,2	0,6	Изометричный объемный объект
	226	5,3	2,6	0,4	Изометричный объемный объект
	227	7,4	1,0	0,3	Линейный объемный объект

Рис. 8 – Пример каталога выделенных объектов

Классификация выделяемых объектов:

- группа изометричных объектов (рисунок 9);
- изометричный объемный объект – длина превышает ширину не более, чем в 3 раза, объект имеет превышение над дном (рисунок 10, рисунок 11);
- линейный объемный объект – длина больше ширины в 3 раза и более, объект имеет превышение над дном;
- изометричный плоскостной объект – длина превышает ширину не более, чем в 3 раза, объект не имеет превышения над дном;
- линейный плоскостной объект – длина больше ширины в 3 раза и более, объект не имеет превышения над дном.

Большая часть выделенных объектов имеет, предположительно, естественное происхождение. На данных ГЛБО обнаружено большое количество локальных углублений (рисунок 9) размерами от меньше метра до нескольких десятков метров. В центре некоторых подобных углублений заметно резкое возрастание интенсивности сигнала обратного рассеивания (рисунок 10). Внутри некоторых впадин на высокочастотных данных наблюдаются положительные объемные объекты (рисунок 11).

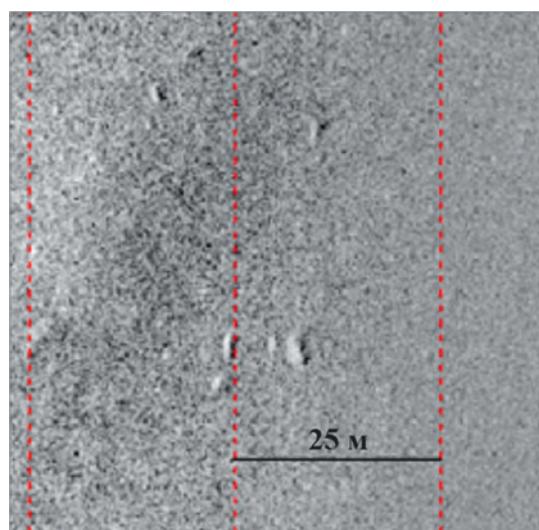


Рис. 9 – Группа небольших локальных углублений

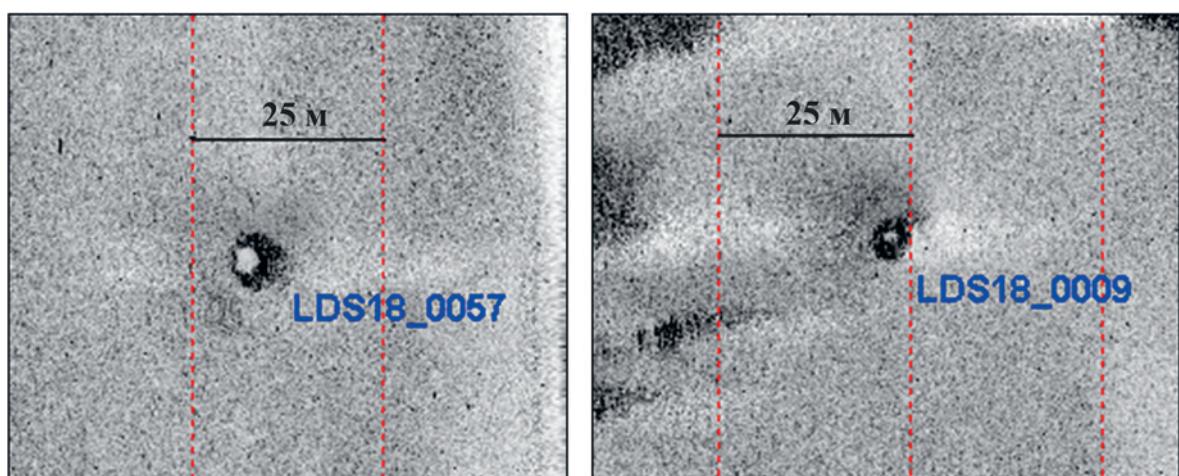


Рис. 10 – Примеры локальных углублений с резким возрастанием интенсивности сигнала

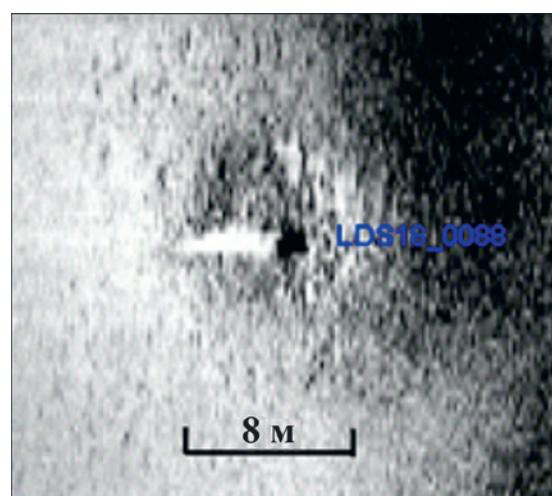


Рис. 11 – Объемный объект в углублении

Некоторые выделенные объекты характеризуются высокой интенсивностью сигнала обратного рассеивания и имеют четкие геометрические очертания, что дает основание предположить их техногенное происхождение (рисунок 12).

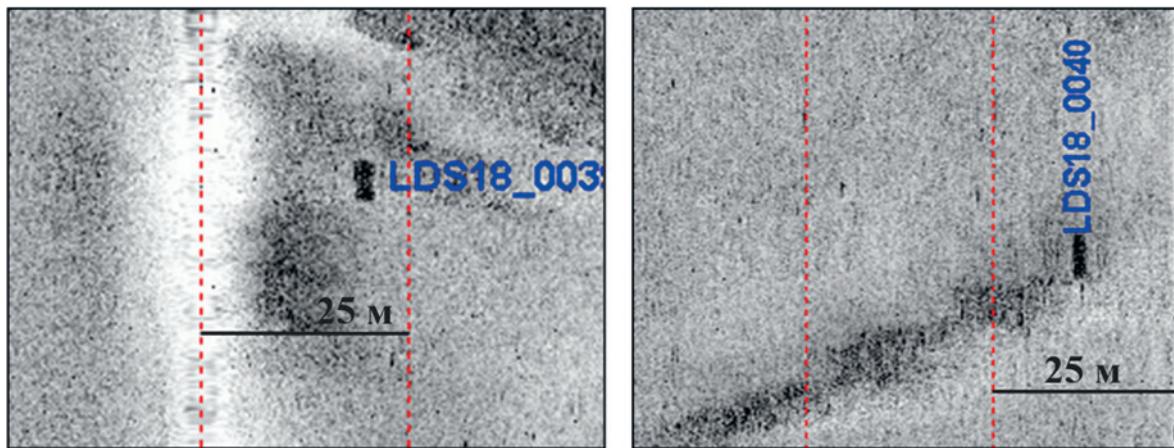


Рис. 12 – Предположительно техногенные объекты

В результате анализа сонарных изображений были обнаружены вытянутые области пониженных значений интенсивности сигнала, которые интерпретируются как неровности рельефа, связанные с гравитационным перемещением верхнего слоя слабо консолидированных (текущих) осадков (рисунок 13а). Данный процесс широко распространен на склонах борозд и больших локальных углублений.

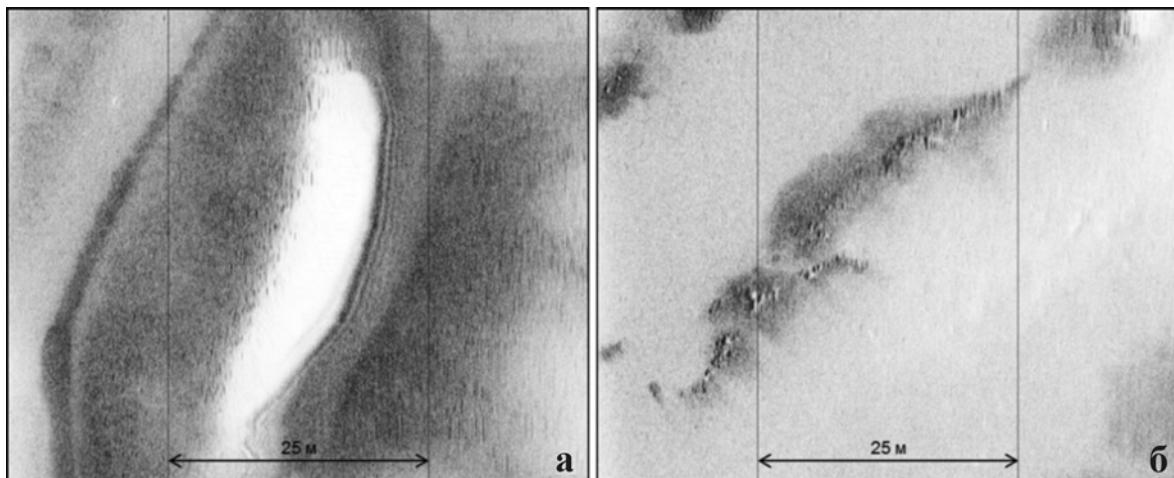


Рис. 13 – Акустическое изображение неровностей рельефа (а) и линейных скоплений валунов (б) на поверхности дна

Также на данных ГЛБО было отмечено большое количество локальных изометрических объектов, имеющих превышение над морским дном. Они интерпретируются как валуны. Характерно, что данные объекты (валуны) зачастую встречаются в областях повышенной интенсивности сигнала обратного рассеяния на бортах борозд (рисунок 13б). После сопоставления с результатами донного пробоотбора был сделан

вывод, что в областях повышенной интенсивности сигнала (темные области на мозаичном изображении) на поверхность выходят мягкопластичные суглинки, текущие илы на данном участке отсутствуют.

Часть объектов, наблюдаемых по данным ГЛБО, также выделяется на батиметрии по данным МЛЭ. В результате комплексного анализа удалось выяснить, что часть локальных углублений, обнаруженных по данным гидролокации, приурочено к бороздам ледового выпахивания (рисунок 14).

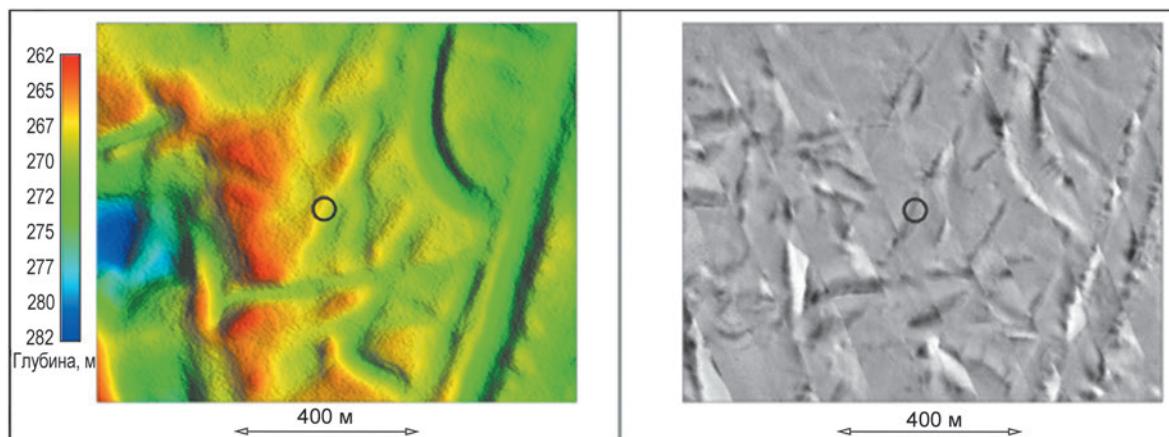


Рис. 14 – Сравнение изображений батиметрии и ГЛБО в районе скважины

Наряду с многочисленными бороздами ледового выпахивания по данным ГЛБО обнаруживаются борозды техногенного происхождения, предположительно являющиеся результатом донного трааления (рисунок 15).

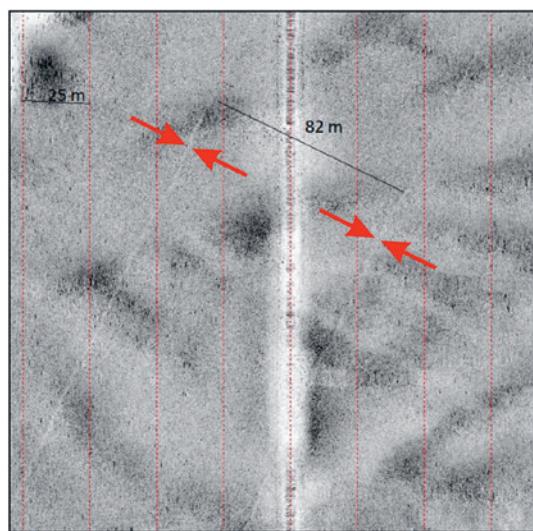


Рис. 15 – Предположительно трааловые борозды (показано красными стрелками)

Заключение

По итогам инженерных изысканий в районе участка Ледового месторождения были получены высококачественные данные по магнитометрии, сейсмике высокого разрешения, многолучевому эхолотированию и гидролокации бокового обзора. Данные МЛЭ и ГЛБО позволили получить детальную информацию о глубинах исследуемой площади и обнаружить подводные возвышения и понижения, а морфометрический анализ позволил выявить особенности поверхности морского дна. Кроме того, обработка материалов позволила детально описать найденные деформации и обнаруженные объекты на дне, а также установить их предположительный генезис. В частности, выявлены: борозды ледового выпахивания U-образного и V-образного типов, изометричные углубления на дне, палеодолина, техногенные объекты на дне, трашевые борозды. Полученные данные играют важную роль при проектировании инженерно-технических сооружений на месторождениях.

Список литературы

1. Геоморфологический словарь-справочник / Сост. Л. М. Ахромеев; Под ред. П. Г. Шевченкова. Брянск: Издательство Брянского государственного университета, 2002.
2. Зайончек А. В., Бrekke X., Соколов С. Ю. и др. Строение зоны перехода «континент–океан» северо-западного обрамления Баренцева моря (по данным 24–26-го рейсов НИС «Академик Николай Страхов», 2006–2009 гг.) // Строение и история развития литосферы / Под ред. Ю. Г. Леонова. М.: Paulsen, 2010. С. 111–157.
3. Замотина З. С., Старовойтов А. В., Токарев М. Ю., Терехина Я. Е., Колюбакин А. А., Гончарова А. М. Палеодолины и палеодепрессии Восточно-Приновоземельского района Карского моря // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2023. № 2. С. 117–127.
4. Левченко О. В., Либина Н. В. Формирование рельефа дна Белого моря в позднечетвертичное время // Океанологические исследования. 2018. № 3 (46). С. 183–192.
5. Мазнев С. В., Кокин О. В., Архипов В. В., Баранская А. В. Современные и реликтовые следы айсберговой экзарации дна Баренцева и Карского морей // Океанология. 2023. № 1 (63). С. 95–107.
6. Миронюк С. Г., Иванова А. А., Колюбакин А. А. Экстремальные глубины современного ледового выпахивания на шельфе северо-восточной части Баренцева моря // Российские полярные исследования. 2018. № 1 (31). С. 12–14.
7. Никифоров С. Л., Ананьев Р. А., Либина Н. В. и др. Ледовая экзарация на Арктическом шельфе России // Океанология. 2019. № 3 (59). С. 466–468
8. Рыбалко А. Е., Миронюк С. Г., Росляков А. Г. и др. Новые признаки покровного оледенения в Карском море: мегамасштабная ледниковая линейность в Восточно-Новоземельском желобе // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Вып. 7. С. 175–181.
9. Система Баренцева моря / Ред.: Лисицын А. П., Агатова А. И., Агафонова Е. А., Шипилов Э. В., Шкарабубо С. И. и др. М.: Издательство Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, 2021.

10. Строительство разведочной скважины № 3 Ледового месторождения. «План предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. Оценка воздействия на окружающую среду». 2021. [Электронный ресурс]. <https://seaprojects.gazprom.ru/d/textpage/9b/155/ovos-na-plrn-led-3.pdf> – свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: 10.07.2024).
11. Строительство разведочной скважины № 4 Ледового месторождения. «Оценка воздействия на окружающую среду» 2021. [Электронный ресурс]. https://krasnoyarskgazpromngp.gazprom.ru/d/textpage/9b/155/ovos_pd_ledovaya-4.pdf – свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: 10.07.2024).
12. Bell T., Cooper A. K., Solheim A. et al. Glossary of glaciated continental margins and related geoscience methods. *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient* // Geol. Soc. Mem. Lond. 2016. P. 555–574.
13. Lambeck K., Yokoyama Y., Johnston P., Purcel A. Global ice volumes at the last Glacial Maximum // Earth and Planetary Science Letters. 2000. Vol. 181. P. 513– 527.
14. Nikiforov S. Morphogenetic classification of seabed // Seabed morphology of Russian arctic shelf. N.Y.: Nova Publisher, 2010. P. 175–188.
15. Solheim A. Depth-Dependent Iceberg Plough Marks in the Barents Sea // *Glaciated Continental Margins* / Davies T. A. et al. (Eds.). Dordrecht: Springer, 1997. P. 138–139.

Статья поступила в редакцию 01.10.2024, одобрена к печати 04.03.2025.

Для цитирования: Казанин А. Г., Сладкомедова В. Ю., Артамонова Т. В. Результаты инженерно-геофизических исследований участка Ледового газоконденсатного месторождения Баренцева моря // Океанологические исследования. 2025. № 53 (1). С. 47–63. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(1\).3](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(1).3).

**RESULTS OF ENGINEERING AND GEOPHYSICAL STUDIES
OF THE LEDOVOE GAS-CONDENSATE FIELD SITE
IN THE BARENTS SEA**

A. G. Kazanin, V. Yu. Sladkomedova, T. V. Artamonova

JSC «Marine Arctic Geological Expedition» (MAGE),
11, Osennaya str., Moscow, 121609, Russia,
e-mail: info@mage.ru,
sladkomedova.vu@mage.ru,
tatyana.artamonova@mage.ru

The paper presents an analysis of the relief of the bottom of the Ledovoe gas-condensate field site of the Barents Sea based on the obtained results of engineering surveys. One of the main survey methods for obtaining the bottom topography was multibeam echo sounding and side-scan sonar. The methodology of data acquisition and processing is described, and a comparative analysis of bathymetry and side-scan sonar model is presented. As a result of the analysis, the morphology of the bottom was described, and the main forms of relief were identified: ice gouge furrows of the U-shaped and V-shaped type, isometric depressions on the bottom, paleovalley. It was revealed that the gouge furrows have a predominantly northwestern orientation; their depth and morphology may indicate a “paleogeographical” origin. The general model of bottom sonar made it possible to identify both local, predominantly man-made objects on the bottom (trawl grooves) and objects of natural origin (clusters of boulders). The obtained data is the most important information when designing engineering structures in fields.

Keywords: Barents Sea, ice plowing furrows, side-scan sonar, isometric objects, isometric depressions, multibeam echo sounding, paleovalley, sonograms

References

1. Bell, T., A. K. Cooper, A. Solheim, B. J. Todd, J. A. Dowdeswell, M. Canals, M. Jakobsson, E. K. Dowdeswell, and K. A. Hogan, 2016: Glossary of glaciated continental margins and related geoscience methods. *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient*. London, Geological Society of London, 555–574.
2. *Geomorfologicheskij slovar-spravochnik*, 2002: Ahromeev L. M., Shevchenkov P. G. (Eds.), Bryansk, Izdatelstvo Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta.
3. Lambeck, K., Y. Yokoyama, P. Johnston, and A. Purcel, 2000: Global ice volumes at the last Glacial Maximum. *Earth and Planetary Science Letters*, **181**, 513–527.
4. Levchenko, O. V. and N. V. Libina, 2018: Formation of bottom topography of the White sea in the late quaternary. *Journal of Oceanological Research*, **3** (46), 183–192.
5. Maznev, S. V., O. V. Kokin, V. V. Arhipov, and A. V. Baranskaya, 2023: Sovremennye i relikto-vye sledy ajsbergovoj ekzaracii dna Barentseva i Karskogo morej. *Oceanology*, **1** (63), 95–107.
6. Mironyuk, S. G., A. A. Ivanova, and A. A. Kolyubakin, 2018: Ekstremalnye glubiny sovremennoj ledovogo vypahivaniya na shelfe severo-vostochnoj chasti Barentseva morej. *Rossijskie polaryarnye issledovaniya*, **1** (31), 12–14.
7. Nikiforov, S., 2010: Morphogenetic classification of seabed. *Seabed morphology of Russian arctic shelf*. N.Y.: Nova Publisher, 175–188.

8. Nikiforov, S. L., R. A. Anan'ev, and N. V. Libina et al., 2019: Ledovaya ehkzariaciya na Arkticheskem shel'fe Rossii, *Oceanology*, **3** (59), 466–468.
9. Rybalko, A. E., S. G. Mironyuk, and A. G. Roslyakov et al., 2020: Novye priznaki pokrovnogo oledeneniya v Karskom more: megamasshtabnaya lednikovaya linejnost' v Vostochno-Novozemel'skom zhelobe. *Rel'ef i chetvertichnye obrazovaniya Arktiki, Subarktiki i Severo-Zapada Rossii*, **7**, 175–181.
10. *Sistema Barentseva morya*, 2021: Lisicyn A. P., Agatova A. I., Agafonova E. A., Shipilov E. V., Shkarubo S. I. et al. (Eds.), Moscow, Shirshov Institut of Oceanology of RAS.
11. Solheim, A., 1997: Depth-Dependent Iceberg Plough Marks in the Barents Sea. *Glaciated Continental Margins*. Davies T. A. et al. (Eds.), Dordrecht: Springer, 138–139.
12. *Stroitelstvo razvedochnoj skvazhiny №3 Ledovogo mestorozhdeniya. "Plan preduprezhdeniya i likvidacii razlivov nefti i nefteproduktov. Ocenka vozdejstviya na okruzhayushuyu sredu"*. 2021. <https://seaprojects.gazprom.ru/d/textpage/9b/155/ovos-na-plrn-led-3.pdf>. (date of access: 07.10.2024).
13. *Stroitelstvo razvedochnoj skvazhiny № 4 Ledovogo mestorozhdeniya. "Ocenka vozdejstviya na okruzhayushuyu sredu"* 2021. https://krasnoyarskgazprom-npg.gazprom.ru/d/textpage/9b/155/ovos_pd_ledovaya-4.pdf. (date of access: 07.10.2024).
14. Zamotina, Z. S., A. V. Starovojtov, M. Yu. Tokarev, Ya. E. Teryohina, A. A. Kolyubakin, and A. M. Goncharova, 2023: Paleodolinu i paleodepressii Vostochno-Prinovozemelskogo rajona Karskogo morya. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, **4**, Geologiya, **2**, 117–127.
15. Zajonchek, A. V., X. Brekke, and S. U. Sokolov, 2010: Stroenie zony perexoda kontinent–okean severo-zapadnogo obramleniya Barentseva morya (po dannym 24–26-go rejsov NIS “Akademik Nikolaj Straxov”, 2006–2009 gg.). *Stroenie i istoriya razvitiya litofsery*, Leonov Yu. G. (Eds.), Moscow, 111–157.

Submitted 01.10.2024, accepted 04.03.2025.

For citation: Kazanin, A. G., V. Yu. Sladkomedova, and T. V. Artamonova, 2025: Results of engineering and geophysical studies of the Ledovoe gas-condensate field site in the Barents Sea. *Journal of Oceanological Research*, **53** (1), 47–63, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(1\).3](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(1).3).