

DOI 10.34926/geo.2023.21.62.003

УДК 550.8.05

ПРИЗНАКИ САРТАНСКОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРО-КАРСКОГО ШЕЛЬФА ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РЕЙСЕ TTR-21

А.О. Аксенов^{1, 2, 3}, А.С. Пирогова^{1, 4}, А.Е. Рыбалко^{1, 2, 5}, М.Ю. Токарев⁴,
А.К. Потемка⁶, И.Ю. Дудков^{7, 8}, М.А. Бирюк²

¹ ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова». 119330, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 77

² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле. 199178, Россия, г. Санкт-Петербург, 10-я линия В.О., д. 33–35

³ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. 199397, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики. 119234, Россия, г. Москва, ул. Колмогорова, д. 1

⁵ ФГБУ «ВНИИОкеангеология». 190121, Россия, г. Санкт-Петербург, Английский пр-т, д. 1

⁶ ООО «Сплит». 119234, Россия, г. Москва, Университетский пр-т, д. 13, стр. 16, к. 2/3

⁷ Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН. 117218, Россия, г. Москва, Нахимовский пр-т, д. 36

⁸ Балтийский федеральный университет имени И. Канта. 236041, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14

Аннотация. В ходе экспедиции плавучего университета ЮНЕСКО – МГУ TTR-21 (21-й экспедиции по программе Training Through Research) в северной части Карского моря по геофизическим данным были диагностированы признаки последнего сартанского оледенения (MIS-2 – морская изотопная стадия 2, поздний неоплейстоцен). Геофизические исследования включали в себя мультичастотную сейсморазведку сверхвысокого разрешения в диапазоне 150–1000 Гц, трехчастотное акустическое профилирование (7, 17,5 и 42 кГц) и многолучевое эхолотирование. В данной статье охарактеризованы обнаруженные ледниковые формы рельефа, их морфология и строение. Рассмотрены такие формы, как конусы выноса талых ледниковых вод, напорные гряды, озы, гряды отступления, аккумулятивные валы зоны всплывания. Подтверждена приуроченность оледенения к Центрально-Карской возвышенности.

Ключевые слова. Карское море, сартанское оледенение, ледниковые формы рельефа, многолучевое эхолотирование, акустическое профилирование, сейсморазведка сверхвысокого разрешения.

EVIDENCE OF THE NORTH KARA SARTAN GLACIATION BASED ON THE GEOPHYSICAL DATA ACQUIRED IN THE TTR-21 RESEARCH EXPEDITION

A.O. Aksenov^{1, 2, 3}, A.S. Pirogova^{1, 4}, A.E. Rybalko^{1, 2, 5}, M.Yu. Tokarev⁴,
A.K. Potemka⁶, I.Yu. Dudkov^{7, 8}, M.A. Biryuk²

¹ Lomonosov Moscow State University Seismic Data Analysis Center LLC. 1, 77, Leninskie gori, Moscow, Russia, 119330

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences. 33–35, 10th av. V.O., Saint Petersburg, Russia, 199178

³ Arctic and Antarctic Research Institute. 38, Beringa str., Saint Petersburg, Russia, 199397

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Department of Seismometry and Geoacoustics. 1, Kolmogorova str., Moscow, Russia, 119234

⁵ FSBI VNIIOkeangeologia. 1, Angliiskii av., Saint Petersburg, Russia, 190121

⁶ LLC Split. 13/16, 2/3, Universitetskii av., Moscow, Russia, 119234

⁷ Shirshov Institute of Oceanology of RAS. 36, Nakhimovskii av., Moscow, Russia, 117218

⁸ Immanuel Kant Baltic Federal University. 14, Aleksandra Nevskogo str., Kaliningrad, Russia, 236041

Abstract. During the UNESCO MSU Floating University expedition TTR-21 (the 21st “Training-Through-Research expedition”) in the northern part of the Kara Sea signs of the last Sartan glaciation (MIS 2 (Marine Isotopic Stage 2), the Late Pleistocene) were identified based on geophysical data. The geophysical survey included 2D very-high-resolution multichannel reflection seismic survey (100–450 Hz), sub-bottom acoustic profiling (10 kHz) and multibeam echo-sounding. In the paper we characterize the discovered glacial landforms and discuss their structure and morphology. The glacial landforms such as ice-contact fans, push moraines, eskers, recessional moraines and grounding-zone wedges are thoroughly investigated. These features support the fact of the Central-Kara High Plain glaciation in the past.

Key words. The Kara Sea, the Sartan glaciation, glacial landforms, multibeam echo-sounding, acoustic profiling, very-high-resolution seismic survey.

ВВЕДЕНИЕ. Существование поздненеоплейстоценовых ледников в пределах северной части Карского моря остается дискуссионной проблемой на протяжении нескольких десятилетий. На сегодняшний день существует не так много работ [Гайнанов и др., 2005; Гусев и др., 2012а; Гусев и др., 2012b; Гусев

и др., 2012с; Polyak et al., 2008], касающихся этой темы. В первую очередь это связано с труднодоступностью этого района Карского моря, тяжелыми климатическими условиями для проведения научно-исследовательских работ.

В период с 10 июля по 23 августа 2022 года в северо-восточной части акватории Карского моря по заданию Министерства образования и науки РФ была проведена морская научно-исследовательская экспедиция на НИС «Академик Борис Петров» в рамках программы плавучего университета МГУ TTR-21 (21-й экспедиции по программе Training Through Research – «Обучение через исследование»). В научные задачи экспедиции входило изучение четвертичного седиментогенеза и рельефообразования в северо-восточной части Карского моря. В рамках региональных исследований было выполнено более 3000 пог. км сейсморазведки сверхвысокого разрешения (ССВР), более 5000 пог. км многолучевого эхолотирования (МЛЭ) и акустического профилирования (АПр). Комплексные геофизические исследования, в том числе многоканальная мультискановая сейсморазведка, позволили получить сейсмические изображения среды высокого качества с разрешением порядка 1–5 м по данным ССВР, 0,1–1 м по данным АПр при глубинности исследований до сотни метров от дна (по ССВР). Полученные материалы обеспечили основу для изучения строения четвертичного разреза и поверхности дна в районе работ. В результате геолого-геоморфологической интерпретации полученных геофизических данных были обнаружены свидетельства существования оледенения Центрально-Карской возвышенности. В данной работе приводятся примеры выделенных форм краевого ледникового рельефа.

Интерпретация форм ледникового рельефа является одним из важнейших методов палеогеографических реконструкций. Анализ морфологии, происхождения и возраста этих образований позволяет получить представление о положении, развитии и длительности оледенений. Это, в свою очередь, является основанием для получения выводов о палеоклиматических и палеоокеанологических условиях прошлого.

Формы, образующиеся в краевой зоне ледника, являются наиболее информативными образованиями, поскольку позволяют реконструировать непосредственно положение края последнего. По происхождению они подразделяются на ледниковые (образованные аккумуляцией ледниковых отложений у края) и флювиогляциальные (образованные отложениями, выносимыми потоками талых ледниковых вод к краю). По условиям образования они могут формироваться как на суше, так и в воде (в зоне контакта моря и ледников) (табл. 1).

Объект исследования

Район работ экспедиции TTR-21 включает в себя такие формы макрорельефа, как Южно-Карская равнина, терраса Геркулеса, Центрально-Карский желоб, поднятие Уединения, Центрально-Карская возвышенность, желоб Воронина и Североземельская возвышенность (рис. 1). Представленные в настоящей работе формы ледникового рельефа расположены у южного окончания Центрально-Карской возвышенности. Сама возвышенность имеет структурно-денудационное происхождение и представляет собой совокупность платообразных поднятий, расчлененных желобами. Поднятия располагаются на глубинах от 20 до 50 м, глубины желобов варьируются от 100 до 200 м.

Методы

В пределах района работ было заложено пять ключевых участков, на которых были выполнены площадные геофизические работы (ССВР, АПр и МЛЭ). Сеть профилей ССВР на третьем ключевом участке исследований приведена на рис. 2. Необходимо отметить, что АПр выполнялось по учащенной по сравнению с ССВР сети профилей. Между ключевыми участками были выполнены региональные профили (рис. 1).

Сейсморазведка сверхвысокого разрешения

Сейсмические исследования сверхвысокого разрешения проводились по методу отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОГТ). Регистрация упругих колебаний выполнялась с использованием 16-канальной сейсмокоды длиной 30 м с шагом между каналами (одиночными гидрофонами) 2 м. Сейсмокода буксировалась на оптимальном заглублении для согласования полезных отраженных сигналов и волн-спутников, отраженных от поверхности «вода – воздух». Возбуждение колебаний обеспечивалось электроискровым источником мощностью 3,5–4 кДж при 100 активных электродах. Рабочий диапазон частот при таких параметрах наблюдений составил от 100 до 450 Гц с центральной частотой около 220 Гц. Указанная методика наблюдений обеспечила глубинность исследований 50–100 м от дна при вертикальной разрешающей способности сейсмической записи 1–5 м.

Акустическое профилирование

Акустическое профилирование на участке работ проводилось с использованием параметрического профилографа Parasound P70, встроенного в блистер НИС «Академик Борис Петров»,

Таблица 1

Некоторые примеры краевых форм рельефа

Условия образования	Ледниковые формы	Флювиогляциальные формы
Субаэральные	Насыпные гряды	Флювиогляциальные дельты, зандры
Субаквальные	Аккумулятивные валы зоны всплывания, шлейфы флю-тиллов	Конусы выноса талых ледниковых вод
Субаэральные/субаквальные	Напорные гряды, гряды выдавливания	

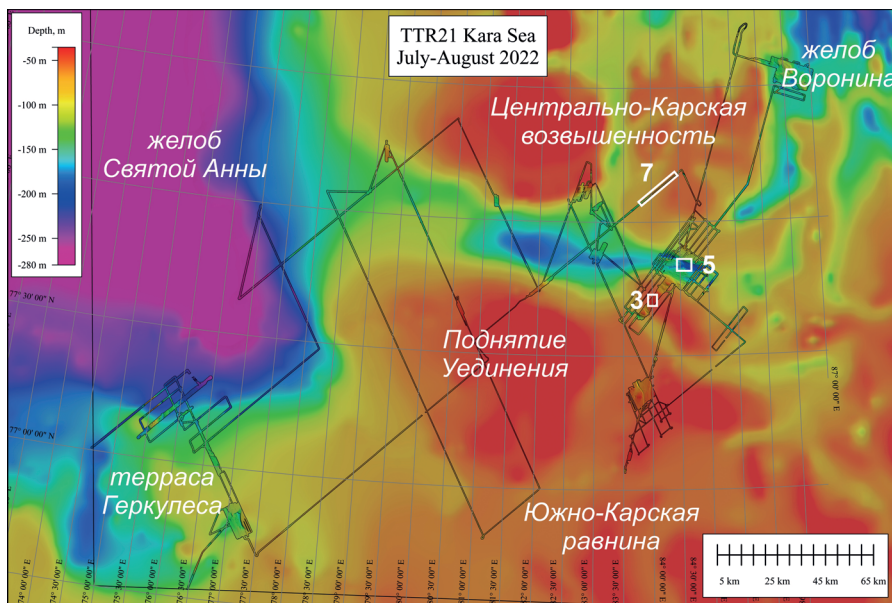


Рис. 1
Район работ экспедиции TTR-21

Батиметрическая основа – цифровая батиметрическая модель (ЦБМ) IBCAO (International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean [Jakobsson et al., 2012]) с разрешением 500 м, совмещенная с ЦБМ TTR-21 с разрешением 30 м. Белыми прямоугольниками обозначено местоположение приведенных ниже фрагментов ЦБМ на рис. 3 и рис. 5 соответственно, а также разреза ССВР на рис. 7

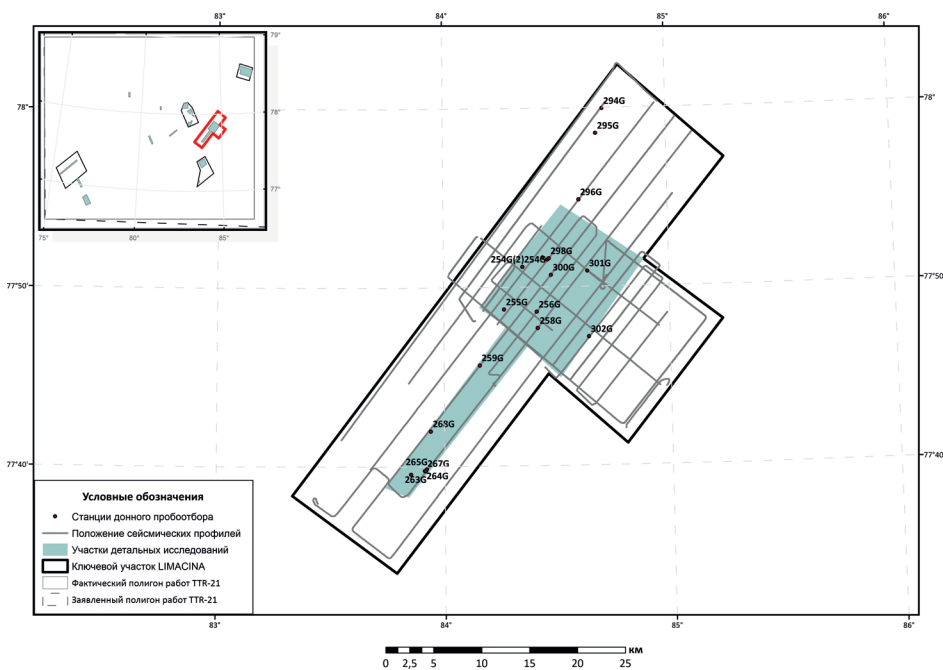


Рис. 2

Пример одного из ключевых участков исследований с сетью профилей ССВР (серые линии)

Область детальных исследований МЛЭ обозначена голубым полигоном. Красными прямоугольниками обозначено местоположение приведенных ниже фрагментов ЦБМ на рис. 3 и рис. 5 соответственно

в трехчастотном исполнении. Параметрические частоты, выбранные для работы профилографа, составляли 7 кГц (нижняя частота), 17,5 кГц (вспомогательная частота) и 42 кГц (верхняя вспомогательная частота). Глубинность АПр составила 5–30 м от дна при вертикальной разрешающей способности 0,1–1 м (на нижней частоте).

Многолучевое эхолотирование

Батиметрическая съемка проводилась методом многолучевого эхолотирования с использованием

штатного судового программно-аппаратного комплекса SeaBat T50-R ER компании Reson. Для измерения профиля скорости звука в водной толще использовался зонд miniSVP компании Valeport Limited. Частота МЛЭ выбиралась исходя из глубины воды в районе работ и требуемой разрешающей способности. При глубинах воды менее 100 м была выбрана частота 400 кГц. По материалам МЛЭ были подготовлены ЦБМ (цифровые батиметрические модели) с разрешением по латерали 2–3 м.

Результаты

По данным батиметрической съемки, АПр и ССВР на платообразных поднятиях в районе работ были обнаружены небольшие формы, интерпретируемые как флювиогляциальные и ледниковые краевые образования. На рис. 3, а на примере фрагмента ЦБМ продемонстрирована поверхность одного из поднятий, на которой фиксируются три гряды, две из которых имеют СВ-ЮЗ простирание и расположены перпендикулярно третьей гряде ЮВ-СЗ простирания.

Одна из гряд ЮВ-СЗ простирания расположена непосредственно у борозки поднятия и имеет высоту

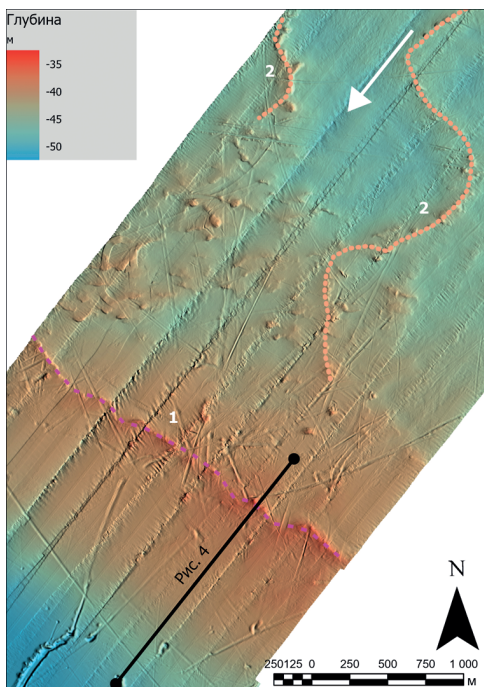


Рис. 3

Фрагмент ЦБМ. Пример проявления ледниковых форм в рельефе дна на платообразном поднятии:

1 – краевая гряда; 2 – озы. Белой стрелкой показано направление движения ледника. Положение приведенного фрагмента ЦБМ показано на рис. 1 и 2. Черной линией показано положение профиля, разрез по которому представлен на рис. 4

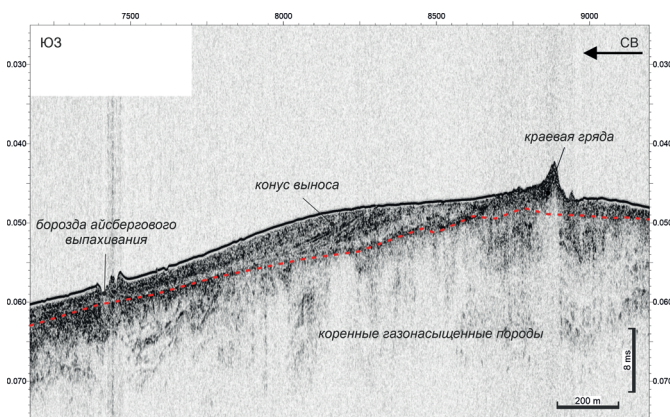


Рис. 4

Фрагмент профиля АПр

Пример разреза, на котором были идентифицированы краевая ледниковая гряда и отложения конуса выноса талых ледниковых вод. Положение профиля в плане показано на рис. 3

4–5 м. Данные АПр позволяют изучить внутреннее строение гряды, идентифицированной в рельефе дна (рис. 5). На сейсмическом изображении по данным АПр гряда характеризуется хаотической волновой картиной. Эта форма представляет собой краевую напорную гряду, сформированную вследствие подвижки ледника.

Южнее краевой гряды ниже по склону фиксируются отложения в придонном слое, для которых характерна наклонная клиноформная слоистость. Такая волновая картина свойственна отложениям конусов выноса талых ледниковых вод, образование которых связано с выносом флювиогляциальных осадков к фронту ледника по внутриледниковым туннелям [Lønne, 1995]. Наклонно-слоистые толщи наблюдаются вдоль всего склона. Стоит отметить, что конус выноса не идентифицируется в рельефе дна по данным МЛЭ, его отложения были зафиксированы при помощи высокоразрешающих данных акустического профилирования.

Ледниковые гряды СВ-ЮЗ простирания, идентифицированные по данным МЛЭ, характеризуются высотой 2–5 м и шириной 20–30 м. Эти формы представляют собой вытянутые извилистые гряды, состоящие из серии холмов, которые, смещаясь на юг, образуют хаотичные скопления. Судя по всему, они являются озами, которые соответствуют положению интрагляциальных туннелей, потоки которых выносят осадки к ледниковому фронту. Холмы представляют собой асимметричные формы с крутым юго-восточным склоном высотой 1–2 м. Учитывая их положение между озами и конусом выноса, предполагается, что их аккумуляция связана с участием талых ледниковых вод в краевой зоне.

По данным батиметрической съемки также были идентифицированы различные формы краевого ледникового рельефообразования, приуроченные к желобам. Например, в рельефе дна были зафиксированы серии параллельных извилистых гряд (рис. 5). Их высота может достигать 15 м, ширина – 100–200 м.

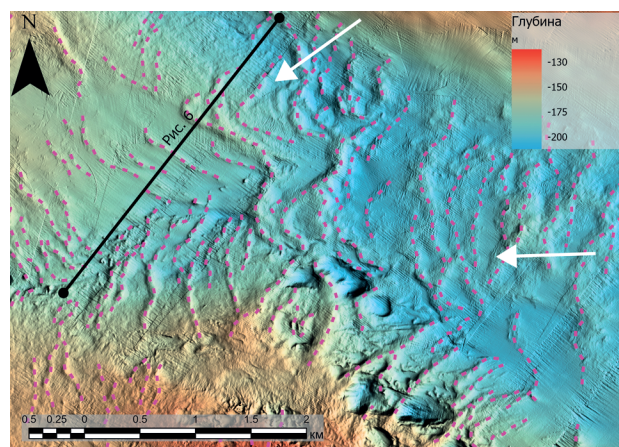


Рис. 5

Фрагмент ЦБМ

Пример проявления ледниковых гряд отступления в рельефе дна в желобе. Белой стрелкой показано направление движения ледника. Положение приведенного фрагмента ЦБМ показано на рис. 1 и 2. Черной линией показано положение профиля, разрез по которому представлены на рис. 6

Для гряд характерны два направления простирания: Ю-С и ЮВ-СЗ. Указанные формы рельефа дна были проинтерпретированы как ледниковые гряды отступления – напорные формы, формирующиеся в результате стадийного отступления ледника, сопровождаемого регулярными подвижками. Положение гряд соответствует положению фронта ледника. Поскольку фиксируются два основных направления простирания этих форм, можно сделать вывод о том, что здесь существовали два ледниковых потока, двигавшихся под углом относительно друг друга.

В районе предполагаемого движения ледника было изучено внутреннее строение придонного сейсмокомплекса по данным высокоразрешающих сейсмических исследований. На рис. 6 представлены вертикальные разрезы по данным АПр (а) и ССВР (б) для профиля, проходящего через ледниковые гряды отступления. Данные АПр не являются информативными для изучения внутреннего строения придонного слоя на этом участке. По всей видимости, это связано со специфическими сейсмогеологическими условиями на этом участке. На участке наблюдается повышенное поглощение и рассеяние энергии акустического сигнала в придонном слое: глубинность метода АПр не превышает 5 м. Для изучения строения верхней части разреза на этом участке необходимо привлекать данные более низкочастотных исследований ССВР.

Как видно на сейсмическом изображении ССВР, ледниковые гряды сформированы на толщах с акустически прозрачной волновой картиной. Под акустически прозрачными толщами залегают толщи

с хаотической сейсмической записью. Указанные толщи, по всей видимости, имеют ледниковое происхождение. Толщи с хаотической волновой картиной интерпретируются как донная морена. Акустически прозрачные толщи на сейсмическом изображении, по всей видимости, соответствуют моренам всплывания [Гайнанов и др., 2005].

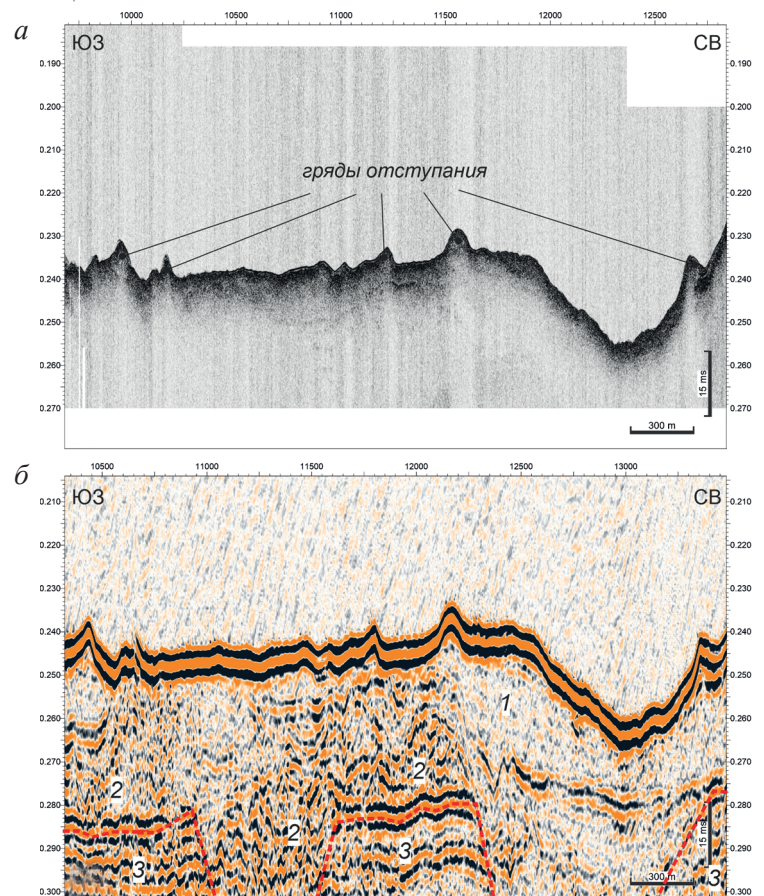
В желобах, помимо гряд отступления, также были зафиксированы другие характерные формы краевого ледникового рельефообразования по данным батиметрической съемки, АПр и ССВР. На рис. 7 приведен пример крупного аккумулятивного тела, выделенного в придонном сейсмокомплексе по данным ССВР. Мощность аккумулятивного тела достигает 90 м, ширина в плане составляет порядка 16 км. Оно характеризуется акустически прозрачной волновой картиной. При этом внутри толщи наблюдается несколько низкоамплитудных рефлекторов, наклонно опускающихся с СВ на ЮЗ (рис. 7). Данная форма рельефа была проинтерпретирована как аккумулятивный вал зоны всплывания (*grounding-zone wedge*). Такие образования формируются на контакте ледника с морем (в зоне всплывания) и связаны с выдавливанием сильно обводненного моренного материала из-под ложа ледника [King et al., 1991]. Наблюдаемые наклонные рефлекторы интерпретируются как горизонты, соответствующие стадиям образования вала, когда в результате подвижек ледника поверх уже сформированного вала аккумуляровались новые моренные толщи.

Рис. 6
Фрагмент сейсмических разрезов по профилю, проходящему через ледниковые гряды отступления:
а – АПр; б – ССВР.

Обозначения на разрезе ССВР:

- 1 – толщи с акустически прозрачной волновой картиной, интерпретируемые как морена всплывания;
- 2 – толщи с хаотической волновой картиной, интерпретируемые как морена всплывания;
- 3 – толщи, которым соответствует волновая картина с высокоамплитудными субгоризонтальными отражениями, интерпретируемые как толщи коренных пород.

Положение профиля в плане показано на рис. 5



ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Проведенный комплекс сейсмоакустических и гидроакустических исследований в рамках морской научной экспедиции TTR-21 в северо-восточной части Карского моря обеспечил получение высокоразрешающих сейсмических изображений верхней части разреза (с разрешением порядка 1–5 м по данным ССВР и 0,1–1 м по АПр) и построение цифровой модели рельефа дна по данным многолучевого эхолотирования. При этом глубинность исследований метода ССВР составляла до сотни метров. Проведенные комплексные геофизические исследования обеспечили получение данных высокого качества для изучения рельефа дна и верхней части разреза, в том числе комплекса четвертичных отложений, в районе работ в северо-восточной части Карского моря.

В результате проведенных исследований были получены новые факты о распространении ледниковых образований на Северо-Карском шельфе. В южной части Центрально-Карской возвышенности был идентифицирован ряд форм ледникового и флювиогляциального происхождения: конусы выноса талых ледниковых вод, озовые гряды, краевые напорные гряды, краевые гряды отступления, аккумулятивные валы зоны всплывания. Мы относим эти формы к последнему, позднеплейстоценовому сартанскому оледенению (МИС-2, поздний валдай). Они приурочены как к вершинам поднятий, так и к склонам и днищам желобов. Характерной чертой исследованных образований является различное простирание, что свидетельствует о наличии многочисленных разнонаправленных ледниковых потоков. Так, по описанным выше данным можно выделить ледники, двигавшиеся с востока, северо-востока, северо-северо-востока, севера и северо-северо-запада. В целом они приурочены к Центрально-Карской возвышенности и на рассматриваемом участке двигались в сторону ее южных склонов. Подобные образования весьма характерны для соседнего баренцевоморского шельфа. Они встречаются как в современных ледниковых обстановках (например [Sexton et al., 1992; Streuff et al., 2015]), так

и в открытой части шельфа [Vjarnadóttir et al., 2014; Dowdeswell et al., 2021; Montelli et al., 2023].

Приведенные выше соображения позволяют рекомендовать комплексирование методов МЛЭ, мультислотных ССВР и АПр для дешифрирования ледниковых форм на Северо-Карском шельфе. Так, МЛЭ эффективно при интерпретации морфологии, простирания и положения форм рельефа дна (рис. 3, 5). Материалы АПр позволяют охарактеризовать строение небольших форм в придонной части разреза (рис. 4; 6, а). Данные ССВР позволяют выделять верхние части разреза коренных пород, погребенные моренные толщи (рис. 6, б) и наиболее мощные образования в придонной части разреза (рис. 7).

Благодарности

Авторы выражают благодарность экипажу НИС «Академик Борис Петров».

Финансирование

Экспедиционные работы выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках:

- плана-программы экспедиционных исследований МГУ имени М.В. Ломоносова по теме «Особенности четвертичного седиментогенеза, рельефообразования и природной флюиодоразгрузки на морском дне в северо-восточной части Карского моря» и «Обучение через исследования на арктическом шельфе» (TTR-21);
- государственного задания федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» «Дополнительное обеспечение системы образования в области морских наук – подготовка молодого кадрового резерва по научно-образовательной программе «Плавучий университет» на основе комплексных исследований морей России и Мирового океана»;
- государственного задания ИО РАН «Обеспечение проведения научных исследований, а также экспериментальных разработок».

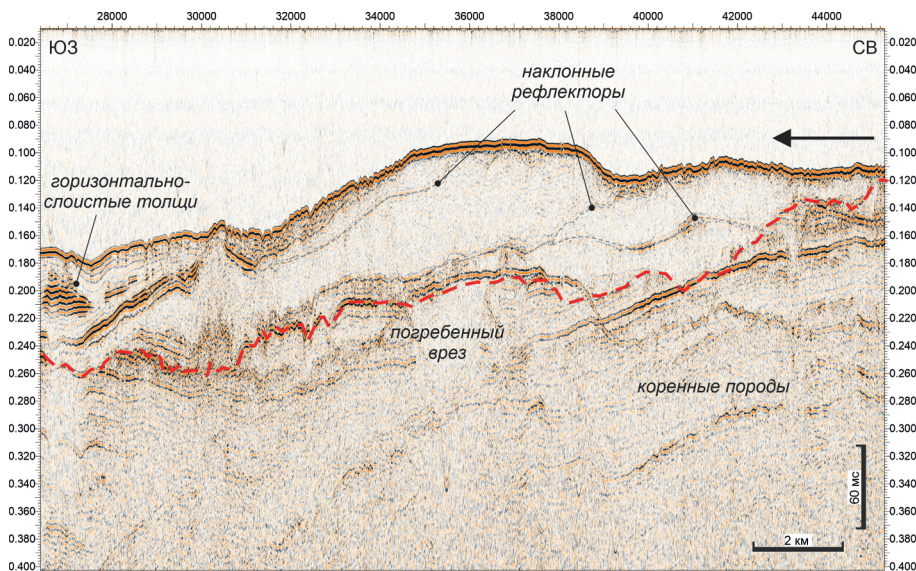


Рис. 7
Фрагмент разреза ССВР по профилю, проходящему через аккумулятивный вал зоны всплывания. Положение профиля в плане показано на рис. 1

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайнанов В.Г., Поляк Л.В., Гатауллин В.Н., Зверев А.С. Сейсмоакустические исследования следов покровных оледенений в Карском море // Вестник Московского государственного университета. Серия 4. Геология. 2005. № 1. С. 38–44.
2. Гусев Е.А., Костин Д.А., Маркина Н.В., Рекант П.В., Шарин В.В., Доречкина Д.Е., Зархидзе Д.В. Проблемы картирования и генетической интерпретации четвертичных отложений арктического шельфа России (по материалам ГТК-1000/3) // Региональная геология и металлогения. 2012а. № 50. С. 5–14.
3. 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. 2012б. № 2. С. 84–89.
4. Гусев Е.А., Шарин В.В., Дымов В.А., Качурина Н.В., Арсланов Х.А. Новые данные о строении верхних горизонтов осадочного чехла северной части Карского шельфа // Разведка и охрана недр. 2012с. № 8. С. 87–90.
5. Bjarnadóttir L.R., Winsborrow M.C.M., Andreassen K. Deglaciation of the central Barents Sea // Quaternary Science Reviews. 2014. Vol. 92. P. 208–226.
6. Dowdeswell J.A., Montelli A., Akhmanov G., Solovyeva M., Terekhina Y., Mironyuk S., Tokarev M. Late Weichselian ice-sheet flow directions in the Russian northern Barents Sea from high-resolution imagery of submarine glacial landforms // Geology. 2021. Vol. 49 (12). P. 1484–1488.
7. Jakobsson M., Mayer L., Coakley B. et al. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0: IBCAO VERSION 3.0 // Geophysical Research Letters. 2012. Vol. 39 (12).
8. King L.H., Rokoengen K., Fader G., Gunleiksrud T. Till-tongue stratigraphy // Geological Society of America Bulletin. 1991. Vol. 103 (5). P. 637–659.
9. Lønne I. Sedimentary facies and depositional architecture of ice-contact glaciomarine systems // Sedimentary Geology. 1995. Vol. 98 (1–4). P. 13–43.
10. Montelli A., Solovyeva M., Akhmanov G., Mazzini A., Piatilova A., Bakay E., Dowdeswell J.A. The geomorphic record of marine-based ice dome decay: Final collapse of the Barents Sea ice sheet // Quaternary Science Reviews. 2023. Vol. 303. P. 107973.
11. Polyak L., Niessen F., Gataullin V., Gainanov V. The eastern extent of the Barents–Kara ice sheet during the Last Glacial Maximum based on seismic-reflection data from the eastern Kara Sea // Polar Research. 2008. Vol. 27 (2). P. 162–172.
12. Sexton D.J., Dowdeswell J.A., Solheim A., Elverhøi A. Seismic architecture and sedimentation in northwest Spitsbergen fjords // Marine Geology. 1992. Vol. 103 (1–3). P. 53–68.
13. Streuff K., Forwick M., Szczuciński W., Andreassen K., Ó Cofaigh C. Submarine landform assemblages and sedimentary processes related to glacier surging in Kongsfjorden, Svalbard // Arktos. 2015. Vol. 1 (1). P. 14.

REFERENCES

1. Gajnanov VG, Poljak LV, Gataullin VN, Zverev AS. Sejsmoakusticheskie issledovanija sledov pokrovnyh oledenenij v Karskom more. Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Serija 4. Geologija. 2005; (1): 38–44 (in Russian).
2. Gusev EA, Kostin DA, Markina NV, Rekant PV, Sharin VV, Dorechkina DE, Zarhidze DV. Problemy kartirovanija i geneticheskoj interpretacii chetvertichnyh otlozhenij Arkticheskogo shel'fa Rossii (po materialam GGK-1000/3). Regional'naja geologija i metallogenija. 2012; (50): 5–14 (in Russian).
3. Gusev EA, Kostin DA, Rekant PV. Problema genezisa chetvertichnyh obrazovanij Barencevo-Karskogo shel'fa (po materialam Gosudarstvennoj geologicheskoy karty Rossijskoj Federacii masshtaba 1:1 000 000. Otechestvennaja geologija. 2012; (2): 84–89 (in Russian).
4. Gusev EA, Sharin VV, Dymov VA, Kachurina NV, Arslanov KhA. New data on the upper horizons of the sedimentary cover of the northern part of the Kara Sea shelf. Razvedka i ohrana nedr. 2012; (8): 87–90 (in Russian).
5. Bjarnadóttir LR, Winsborrow MCM, Andreassen K. Deglaciation of the central Barents Sea. Quaternary Science Reviews. 2014; 92: 208–226.
6. Dowdeswell JA, Montelli A, Akhmanov G, Solovyeva M, Terekhina Y, Mironyuk S, Tokarev M. Late Weichselian ice-sheet flow directions in the Russian northern Barents Sea from high-resolution imagery of submarine glacial landforms. Marine Geology. 2021; 49(12): 1484–1488.
7. Jakobsson M, Mayer L, Coakley B et al. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0: IBCAO VERSION 3.0. Geophysical Research Letters. 2012; 39(12).
8. King LH, Rokoengen K, Fader G, Gunleiksrud T. Till-tongue stratigraphy. Geological Society of America Bulletin. 1991; 103(5): 637–659.
9. Lønne I. Sedimentary facies and depositional architecture of ice-contact glaciomarine systems. Sedimentary Geology. 1995; 98(1–4): 13–43.
10. Montelli A, Solovyeva M, Akhmanov G, Mazzini A, Piatilova A, Bakay E, Dowdeswell JA. The geomorphic record of marine-based ice dome decay: Final collapse of the Barents Sea ice sheet. Quaternary Science Reviews. 2023; 303: 107973.
11. Polyak L, Niessen F, Gataullin V, Gainanov V. The eastern extent of the Barents–Kara ice sheet during the Last Glacial Maximum based on seismic-reflection data from the eastern Kara Sea. Polar Research. 2008; 27(2): 162–172.
12. Sexton DJ, Dowdeswell JA, Solheim A, Elverhøi A. Seismic architecture and sedimentation in northwest Spitsbergen fjords. Geology. 1992; 103(1–3): 53–68.
13. Streuff K, Forwick M, Szczuciński W, Andreassen K, Ó Cofaigh C. Submarine landform assemblages and sedimentary processes related to glacier surging in Kongsfjorden, Svalbard. Arktos. 2015; 1(1): 14.

Положительная рецензия 05.04.2023

ОБ АВТОРАХ



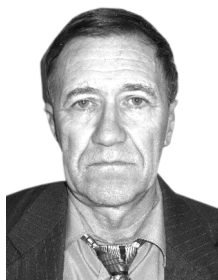
АКСЕНОВ
Алексей Олегович

Аспирант Института наук о Земле СПбГУ, инженер отдела географии полярных стран АА-НИИ. Автор около 30 научных публикаций. Научные интересы – морская геоморфология, палеолимнология, четвертичная геология, палеогляциология, геоморфологическое картирование.



ПИРОГОВА
Анастасия Сергеевна

Старший научный сотрудник кафедры сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. В настоящее время также занимает должность ведущего геофизика в ЦАСД МГУ. С 2019 г. кандидат технических наук. Автор более 40 научных публикаций. Область профессиональных и научных интересов – морская сейсморазведка, количественная интерпретация данных сейсморазведки, обратные задачи в геофизике.



РЫБАЛКО
Александр Евменьевич

Окончил в 1966 г. кафедру общей геологии геологического факультета Ленинградского государственного университета по специальности «геологическая съемка и поиски полезных ископаемых», доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоморфологии СПбГУ, заслуженный геолог РФ. В настоящее время занимается вопросами четвертичной геологии морских и озерных бассейнов Севера и Северо-Запада РФ, проблемами интерпретации сейсмоакустических данных для изучения геологического строения четвертичного покрова и инженерно-геофизических изысканий под строительство морских объектов. Специалист по проведению геоэкологического мониторинга на акваториях шельфовых морей. Автор более 350 публикаций.



ТОКАРЕВ
Михаил Юрьевич

Окончил геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова в 1982 г. Почетный разведчик недр, кандидат технических наук, заместитель декана геологического факультета МГУ, ведущий научный сотрудник кафедры сейсмометрии и геоакустики, председатель Московского отделения Евро-Азиатского геофизического общества (ЕАГО), член наблюдательного совета по России Международного общества инженеров-нефтяников (SPE). Автор более 90 научных работ, ряда патентов и специализированных программных средств. Область интересов – технологии сейсмоакустических исследований, обработка сейсмических данных, морская геология.



ДУДКОВ
Иван Юрьевич

Младший научный сотрудник лаборатории геологии Атлантики атлантического отделения Института океанологии имени П.П. Шириова, выпускник Nippon Foundation/GEBCO Training Program 2020–2021. В настоящий момент является аспирантом 2-го курса направления «океанология» БФУ имени И. Канта. Научными и профессиональными интересами являются картографирование океана, обработка и интерпретация данных многолучевого эхолотирования, морская геоморфология, ГИС-системы и программирование.



ПОТЕМКА
Андрей Константинович

Аспирант МГУ имени М.В. Ломоносова по специальности «геофизика». В 2015 г. окончил кафедру сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Участник и организатор более 25 экспедиций на шельфе РФ. Область научных интересов – технологии мультичастотных и комплексных сейсмоакустических исследований на акваториях.



БИРЮК
Мария Александровна

Студентка 4-го курса кафедры геоморфологии Института наук о Земле СПбГУ. Область научных интересов – морская геология и геоморфология, проявление опасных геологических процессов и явлений на шельфе.