

# СЕКЦИЯ АРКТИКА И СУБАРКТИКА

doi: 10.24412/2687-1092-2022-9-15-19

## РАЗНООБРАЗИЕ ФОРМ ДОННОГО РЕЛЬЕФА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-КАРСКОГО ЖЕЛОБА (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-21)

<sup>1</sup>Аксенов А.О., <sup>1,2</sup>Рыбалко А.Е., <sup>3</sup>Пирогова А.С., <sup>2</sup>Кудинов А.А. <sup>4</sup>Дудков И.Ю., <sup>3</sup>Токарев М.Ю.

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>4</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

В данной работе представлена первичная интерпретация материалов, полученных в ходе экспедиции в северную часть Карского моря TTR-21 Плавучего Университета МГУ. Работы проведены на научно-исследовательском судне «Академик Борис Петров» ИО РАН в июле-августе 2022 года. В результате сочетания геологического пробоотбора с сейсмическими и гидроакустическими методами исследований, такими как сейморазведка сверхвысокого разрешения, акустическое профилирование и многолучевое эхолотирование, были получены данные о строении четвертичных отложений и геоморфологии дна Карского моря. В докладе рассмотрены формы донного рельефа, встреченные на одном из ключевых участков в районе исследования, описаны их морфология и предположительное происхождение.

Ключевые слова: *Карское море, TTR-21, сейморазведка сверхвысокого разрешения, акустическое профилирование, многолучевое эхолотирование, субаквальная геоморфология*

**Введение.** В июле-августе 2022 года на борту научно-исследовательского судна «Академик Борис Петров», принадлежащего Институту Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, состоялась экспедиция Плавучего Университета МГУ TTR-21 (Training Trough Research) в акваторию Карского моря. Исследования были проведены в северной части моря (Рис. 1) и включали в себя: геологический пробоотбор (с первичным литологическим описанием, гидрогеологическим и геохимическим анализами), комплекс сейсмических и гидроакустических методов (сейморазведка сверхвысокого разрешения (ССВР), акустическое профилирование (АПр), многолучевое эхолотирование (МЛЭ)), а также микробиологические и молисмологические исследования. В задачи рейса входили:

- 1) изучение геоморфологии и четвертичного разреза дна Карского моря;
- 2) определение границы последнего (Сартанского) оледенения;
- 3) поиск признаков газопроявления и зон флюидоразгрузки на дне и в верхней части разреза рыхлых отложений.

В ходе экспедиции были выбраны 5 ключевых участка с разным геологическим строением, которые были покрыты регулярной сетью ССВР и АПр со площадным покрытием МЛЭ. В данной работе речь пойдет о ключевом участке (КУ) Limacina. Этот полигон расположен в восточной части Центрально-Карского желоба, между Центрально-Карской возвышенностью и Южно-Карской равниной.

**Методы исследования.** Интерпретация форм донного рельефа опирается на материалы ССВР, АПр и МЛЭ. Сейсмоакустические исследования проводились по классическому методу многократных перекрытий (МОВ-ОГТ) с применением буксируемых аналоговых сейсмокодов в качестве приемных устройств и электроискровых источников колебаний, обеспечивающих возбуждение колебаний различного частотного состава. Возбуждение акустических колебаний было выполнено с использованием электроискровых источников SplitMultiSeis Sparker, отличающихся количеством электродов, и накопителя энергии MultiJack 5000HP6.0. В зависимости от модификации съемки возбуждение производилось при помощи двух источников, работающих в попеременном режиме («flip-flop») и обеспечивающих возбуждение колебаний в различных частотных диапазонах, либо при помощи одного источника. Центральная частота излучаемых сигналов для различных

модификаций съемки составляла порядка 220 и 500 Гц. В качестве приемного оборудования использовалась 16-канальная сейсмическая пьезокоса SplitMultiSeis Streamer 16ch с шагом 2 м между одиночными гидрофонами и сейсмостанция SplitMultiSeis Station. В ходе работ источники буксировались за судном на расстоянии порядка 30 м, а сейсмическая коса на расстоянии 10 м от источника.

Сбор батиметрических данных выполнен многолучевой эхолотной системой Teledyne SeaBat T50 ER (Extended Range). Съёмка проводилась 1024-мя лучами с углом диаграммы направленности  $1^\circ \times 1^\circ$ , центральной частотой 200 kHz и сигналом модулированной частоты (FM) с длиной импульса до 8 мс. Сбор данных акустического профилирования произведён параметрическим донным профилографом Atlas Parasound P70 одновременно на трёх частотах: 7 kHz, 17 kHz и 38 kHz с углом диаграммы направленности  $4.5^\circ \times 4.5^\circ$ . Вертикальное разрешение составляло 10-12 см, глубинность - до 30-70 м (в зависимости от типа осадка) для частоты 7 kHz. Запись сеймотрасс велась в сырой формат данных .asd, которые затем были конвертированы в формат SEG Y и после обработаны в профессиональном программном обеспечении (ПО) обработки сейсмических данных RadExPro. Позиционирование, синхронизация времени, а также измерение и учёт смещений судна проводилось с помощью инерциальной навигационной системы (ИНС) Applanix POS MV.

Данный набор методов позволяет получить детальную информацию о структуре четвертичного покрова, а также морфологии и конфигурации форм субаквального рельефа. Для первичной обработки данных ССВР и АПр использовано программное обеспечение RadExPro. Последующая интерпретация этих материалов выполнена в Kingdom IHS Software. По данным МЛЭ в программном обеспечении Teledyne PDS2000 были построены цифровые модели рельефа с разрешением 2, 10 и 30 м (Рис. 2).

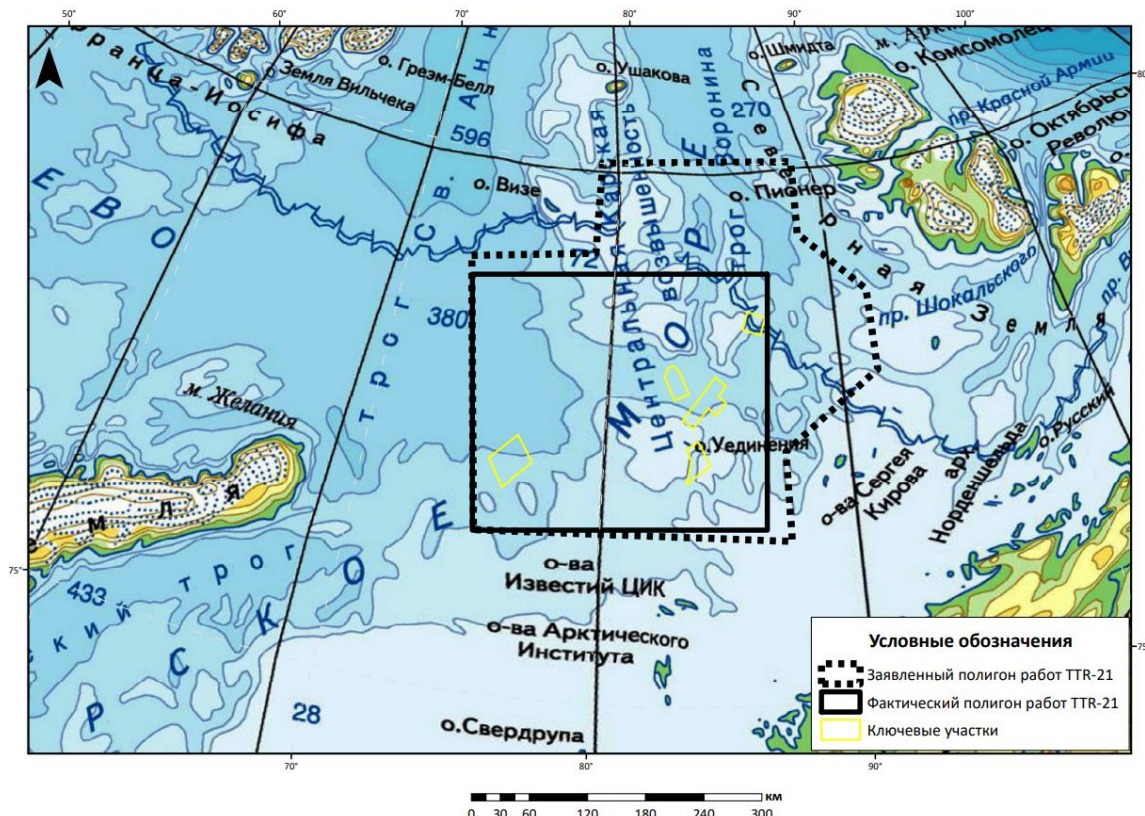


Рис. 1. Карта фактического материала экспедиции TTR-21

**Результаты и обсуждение.** КУ Limasina расположен в пределах 3 крупных геоморфологических элементов. С севера и юга он ограничен структурно-денудационными платообразными возвышенностями. В центре участка расположена долина, которая выходит непосредственно в Центрально-Карский желоб. Амплитуда глубин на участке – от 30 до 234 м. Выделенные нами формы были подразделены на несколько генетических типов:

- 1) Аккумулятивный краевой ледниковый и водно-ледниковый;
- 2) Флювиогляциальный эрозионный и аккумулятивный;
- 3) Ледовый экзарационный;
- 4) Оползневый подводный;
- 5) Морской течениевый;
- 6) Флюидогенный.

Наиболее ярко выраженными формами являются ледниковые и водно-ледниковые образования. Они представлены: фронтальными конусами выноса талых ледниковых вод, озовыми грядами, моренными грядами напора и отступления. На платообразных возвышенностях встречены конуса выноса и напорные гряды, вытянутые с северо-запада на юго-восток, а также озы, ориентированные с северо-востока на юго-запад. В долине встречены серии гряд отступления. Интересно, что они ориентированы как с северо-запада на юго-восток, так и с севера на юг. Также в долине выделяется крупная гряда высотой 30 м, ориентированная с запада на восток. Ее происхождение является дискуссионным, предположительно она образована вследствие выдавливания моренного материала из-под ледника у линии всплывания ледника. Кроме того, здесь же наблюдается и эрозионная ложбина стока талых ледниковых вод.

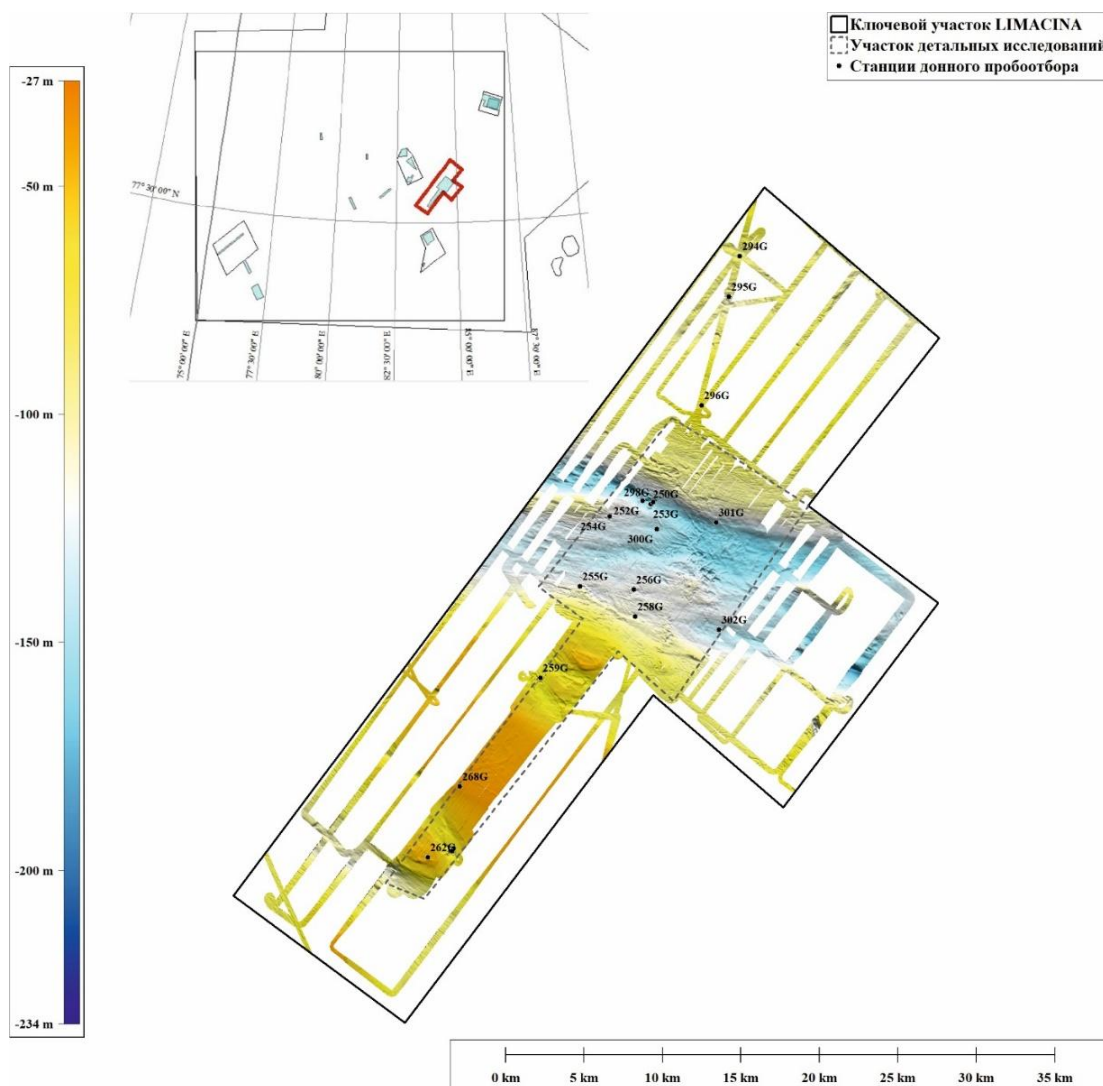


Рис. 2. Цифровая модель рельефа КУ Limacina с нанесенными точками пробоотбора

Следующими яркими формами являются борозды айсбергового или ледового выпаживания. Они встречаются вплоть до глубин 150 м. Большая часть борозд встречена именно в долине. Здесь они имеют строго определенное направление, согласно с

направлением долины – с востока на запад. На платообразных возвышенностях, выше 70-80 м борозд гораздо меньше, но при этом они крупнее, имеют более «свежий» облик (с ярко выраженными бортиками обваловки и не заполнены осадками), а их ориентировка хаотична. Предполагается, что они являются более молодыми, по сравнению с бороздами в долине, образованиями.

На участке было также встречено несколько оползней. Они приурочены к северному склону центральной долины, а также к небольшому желобу на юге КУ. Крутизна склонов составляет 4-6°. Пробоотбором из оползневого тела был получен керн (TTR21-AR250G). Представленные в нем осадки были проинтерпретированы как декливив.

К морскому течению генетическому типу относятся серии малых (< 1 м) валообразных поднятий, которые были проинтерпретированы как песчаные рифели (знаки ряби). Они расположены на днище долины. Их конфигурация указывает на направление современных течений с востока на запад.

Также были зафиксированы котловинообразные понижения диаметром 20-30 м и глубиной меньше метра, предположительно являющиеся покмарками. Они локализованы на южном склоне долины. Кроме того, признаки флюидоразгрузки по данным ССВР зафиксированы на всем участке Limacina. Нередко на записи водного столба наблюдались облакообразные аномалии, которые предположительно связаны со следами сипов. Также следы дегазации наблюдались и в кернах.

Нами наблюдались и формы, генезис которых пока остается предметом обсуждений. К ним относятся небольшие бугры высотой 1-2 м. Они образуют скопления, которые можно разделить на две группы: линейно и хаотически ориентированные. Линейно ориентированные скопления формируют полосы, в целом направленные с севера на юг. К формам неясного происхождения также относится ложбина на южном склоне долины. Она ориентирована с юга на восток, по направлению падения склона, Ширина ложбины – 400 м, при длине 1,8 км, а глубина – 5 м. По контуру ложбина окаймлена бортиками высотой 1 м.

В результате проведенного исследования на ключевом участке Limacina, мы можем сделать следующие выводы:

- 1) Установлены формы реликтового рельефа, к которым относятся аккумулятивные краевые образования ледникового и водно-ледникового рельефа, эрозионные флювиогляциальные формы, а также экзарационные айсберговые или ледовые борозды.
- 2) Установлено, что южнее КУ Limacina следов ледникового воздействия на поверхность дна не наблюдается. Следовательно, мы можем принять южную часть полигона как границу сартанского оледенения. Такая трактовка позволяет уточнить реконструкции, предлагаемые в предыдущих исследованиях. Так, по сравнению с моделями [Hughes et al., 2016] и [Polyak и др., 2008], предлагаемая нами граница проходит на 33 км южнее.
- 3) К современным явлениям относятся оползневые и течениевые процессы, а также процессы флюидоразгрузки. Отдельно стоит отметить, что существование подводных течений приводит к отсутствию современных осадков в долине, несмотря на большую глубину днища долины (200-230 м).
- 4) Также были обнаружены формы донного рельефа, происхождение которых не было установлено.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность экипажу НИС «Академик Борис Петров». Экспедиционные работы выполнялись 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 флюидоразгрузки на морском дне в северо-восточной части Карского моря» и «Обучение-через-исследования на Арктическом шельфе»;

- 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 «Плавающий университет» на основе комплексных исследований морей России и Мирового океана».
- государственного задания ИО РАН «Обеспечение проведения научных исследований, а также экспериментальных разработок».

#### ЛИТЕРАТУРА

*Hughes A. L. C., Gyllencreutz R., Lohne Ø. S., Mangerud J., Svendsen J. I.* The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1 // *Boreas*. 2016. Vol. 45. Is. 1. P. 1–45. doi: 10.1111/bor.12142

*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. Is. 2. P. 162–172. doi: 10.3402/polar.v27i2.6174

#### **A VARIETY OF BEDFORMS IN THE EASTERN PART OF CENTRAL KARA TROUGH (PRELIMINARY RESULT OF EXPEDITION TTR-21)**

<sup>1</sup>*Aksenov A.O.*, <sup>1,2</sup>*Rybalko A.E.*, <sup>3</sup>*Pirogova A.S.*, <sup>2</sup>*Kudinov A.A.*, <sup>4</sup>*Dudkov I.Yu.*, <sup>3</sup>*Tokarev M.Yu.*

<sup>1</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

This work presents preliminary interpretation of data, collected during expedition TTR-21 of MSU in the northern part of the Kara Sea. The fieldwork was executed on the board of IO RAS research vessel “Akademik Boris Petrov” in July-August 2022. Due to combination of sediment coring with seismic and hydroacoustic methods such as very high-resolution seismic profiling, acoustic profiling and multibeam echo-sounding, data on quaternary sediments structure and geomorphology of Kara Sea bottom was retrieved. Bedforms located at one of the research area key sites are considered here. Their morphology and origin are described.

Keywords: *The Kara Sea, TTR-21, very high-resolution seismic profiling, acoustic profiling, multi-beam echo-sounding, subequal geomorphology*