

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-4-565-579

EDN TALHJY

УДК 910.27

## ДЕТАЛЬНАЯ СЪЕМКА РЕЛЬЕФА НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЕЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Ю. Г. Фирсов<sup>1</sup>, М. В. Иванов<sup>2</sup>, Е. Н. Колосков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

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

Рассмотрены новые современные детальные батиметрические данные по прилаптевоморском сектору континентального склона Евразийского бассейна. Отмечено исключительное значение данного района для исследования геологического строения и широкого круга природных процессов. Приведены актуальные сведения о современном состоянии батиметрической изученности прилаптевоморского сектора континентального склона Северного Ледовитого океана, основанные на международных моделях IBСАО версии 5 и GEBCO 2025. Отмечается неравномерность батиметрического покрытия и отсутствие в указанных международных батиметрических моделях результатов российских батиметрических съемок, выполненных в период 2010–2024 гг. Приведены сведения по результатам современной батиметрической съемки, выполненной в 2022 и 2024 гг. на океанографическом исследовательском судне «Янтарь» в прилаптевоморском секторе континентального склона Евразийского бассейна. Отмечается, что детальная площадная съемка рельефа дна в прилаптевоморском секторе континентального склона Евразийского бассейна была проведена впервые, и использование современных гидрографических информационных технологий позволило в полной мере выявить потенциал, заложенный в гидроакустической информации, предоставляемой современными многолучевыми эхолотами. Подчеркивается, что применение гидрографических информационных технологий позволило выявить в этом районе новые формы рельефа, связанные с развитием ранее неизученных геологических процессов. Приведена подробная батиметрическая модель рельефа всего района съемки, а также детальная модель рельефа участка дна с развитием грязевулканических форм. Зафиксированы различия в строении поверхности дна зоны хребта Гаккеля и континентального склона к западу от нее. Выявлены несколько генераций оползневых тел, активные и отмершие долинны формы. Обращается внимание, что в долине Садко имеет место сложное сочетание неотектонических и гравитационных процессов, хорошо прослеживаемых на детальной батиметрической модели рельефа. Даны рекомендации по актуализации нормативных документов для проведения батиметрических съемок для обеспечения морских геологических исследований и требований к окончательной обработке данных площадной съемки рельефа.

**Ключевые слова:** Северный Ледовитый океан, Евразийский бассейн, прилаптевоморский континентальный склон, долина Садко, площадная батиметрическая съемка, многолучевой эхолот, детальные батиметрические данные, акустическое изображение дна, цифровые модели рельефа, трехмерное изображение дна.

### Для цитирования:

Фирсов, Ю. Г. Детальная съемка рельефа на континентальном склоне северного ледовитого океана и методы представления ее результатов с использованием гидрографических информационных технологий / Ю. Г. Фирсов, М. В. Иванов, Е. Н. Колосков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2026. Т. 18. № 4. С. 565–579. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-4-565-579.

## DETAILED SURVEY OF SEAFLOOR RELIEF ON THE CONTINENTAL SLOPE OF THE ARCTIC OCEAN AND METHODS FOR PRESENTING ITS RESULTS USING HYDROGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES

**Yu. G. Firsov<sup>1</sup>, M. V. Ivanov<sup>2</sup>, E. N. Koloskov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> FSBI "VNIIOkeangeologiya",  
St. Petersburg, Russian Federation

*New up-to-date detailed bathymetric data on the Laptev Sea sector of the continental slope of the Eurasian Basin are considered. The exceptional importance of this area for studying its geological structure and a wide range of natural processes is noted. Current information on the present state of bathymetric coverage of the Laptev Sea sector of the continental slope of the Arctic Ocean, based on the international IBCAO Version 5 and GEBCO 2025 models, is presented. The unevenness of bathymetric coverage and the absence from these international bathymetric models of the results of Russian bathymetric surveys carried out in 2010–2024 are noted. Information on the results of modern bathymetric surveys conducted in 2022 and 2024 aboard the oceanographic research vessel Yantar in the Laptev Sea sector of the continental slope of the Eurasian Basin is presented. It is noted that a detailed areal survey of the seafloor relief in the Laptev Sea sector of the continental slope of the Eurasian Basin was conducted for the first time, and that the use of modern hydrographic information technologies made it possible to fully reveal the potential inherent in the hydroacoustic information provided by modern multibeam echo sounders. It is emphasized that the application of hydrographic information technologies made it possible to identify new relief forms in this area associated with the development of previously unstudied geological processes. A detailed bathymetric model of the relief of the entire survey area is presented, as well as a detailed relief model of a seafloor area with mud-volcanic forms. Differences in the structure of the seafloor surface of the Gakkel Ridge zone and the continental slope to the west of it are recorded. Several generations of landslide bodies and active and inactive valley forms are identified. Attention is drawn to the complex combination of neotectonic and gravitational processes in the Sadko Valley, which are clearly traceable in the detailed bathymetric relief model. Recommendations are given for updating regulatory documents on conducting bathymetric surveys to support marine geological research and on requirements for the final processing of areal seafloor survey data.*

*Keywords: Arctic Ocean, Eurasian Basin, Laptev Sea continental slope, Sadko Valley, full-coverage bathymetric survey, multibeam echo sounder, detailed bathymetric data, acoustic seafloor image, digital terrain models, three-dimensional seafloor image.*

### For citation:

Firsov, Yuri G., M. V. Ivanov and E. N. Koloskov. "Detailed survey of seafloor relief on the continental slope of the arctic ocean and methods for presenting its results using hydrographic information technologies." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 18.4 (2026): 565–579. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-4-565-579.

### Введение (Introduction)

Изучение рельефа дна Мирового океана является тем фундаментом, на котором основываются морские науки. Гидрографические исследования первоначально ставили задачи изучения рельефа только прибрежных районов океанов в целях обеспечения безопасности мореплавания, а интерес к измерению больших океанских глубин возник только во второй половине XIX в. в связи с необходимостью прокладки трансокеанских телеграфных кабелей. Такие съемки, не связанные с созданием навигационных морских карт, называются *батиметрическими*.

В нашей стране батиметрические исследования начались в конце 40-х гг. XX в. и связаны с именем профессора Г. Б. Удинцева — исследователя рельефа дна океанов, именем которого назван трансформный разлом в Тихом океане, ученого в течение длительного времени возглавлявшего изучение рельефа дна Тихого и Индийского океанов на научно-исследовательском судне «Витязь». Съемка рельефа дна выполнялась в виде маршрутного промера с использованием однолучевых эхолотов (ОЛЭ)<sup>1</sup>. Впервые была разработана и внедрена методика *геоморфологического картирования*.

<sup>1</sup> Удинцева О. Г. Исповедь сына века : воспоминания, очерки. СПб.: Серебряный век. 2024. 814 с.

В СССР были опубликованы батиметрические карты масштаба 1: 5 000 000, использованные для подготовки проектов Генеральной батиметрической карты Мирового океана. В этот период начались изучение рельефа дна Северного Ледовитого океана (СЛО) и подготовка батиметрических карт. Начиная с 2010 г. Российская Федерация выполнила в СЛО большой объем маршрутной батиметрической съемки с использованием многолучевых эхолотов (МЛЭ) для обоснования национального представления на расширенный континентальный шельф в Арктике<sup>2</sup>. Информация по батиметрической изученности СЛО представлена в монографии [1].

Целью исследования является представление впервые полученных результатов детальной площадной батиметрической съемки, выполненной в 2022 и 2024 гг. в южной части «зоны Садко» и позволившей получить наглядные 2/3D цифровые изображения рельефа дна на глубинах более 2000 м. Получение такой информации стало возможным на основе применения МЛЭ и компьютерных технологий обработки и анализа гидроакустической информации о морском дне, включая технологии различных вариантов визуализации цифровых моделей рельефа, что является актуальным для решения задач морской геологии.

### Методы и материалы (Materials and methods)

Батиметрическая изученность СЛО, выполненная РФ в период 2010–2024 гг. для обоснования национального представления на расширенный континентальный шельф в виде галсов многолучевой съемки, представлена на карте-схеме, приведенной на рис. 1. Маршрутная многолучевая съемка проводилась в 2010–2020 гг. В 2022 г. и 2024 г. в связи с изменением концепции российского представления о положении внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) была выполнена площадная съемка в двух районах юго-восточной части хребта Гаккеля на континентальном склоне моря Лаптевых (см. легенду на рис. 1).

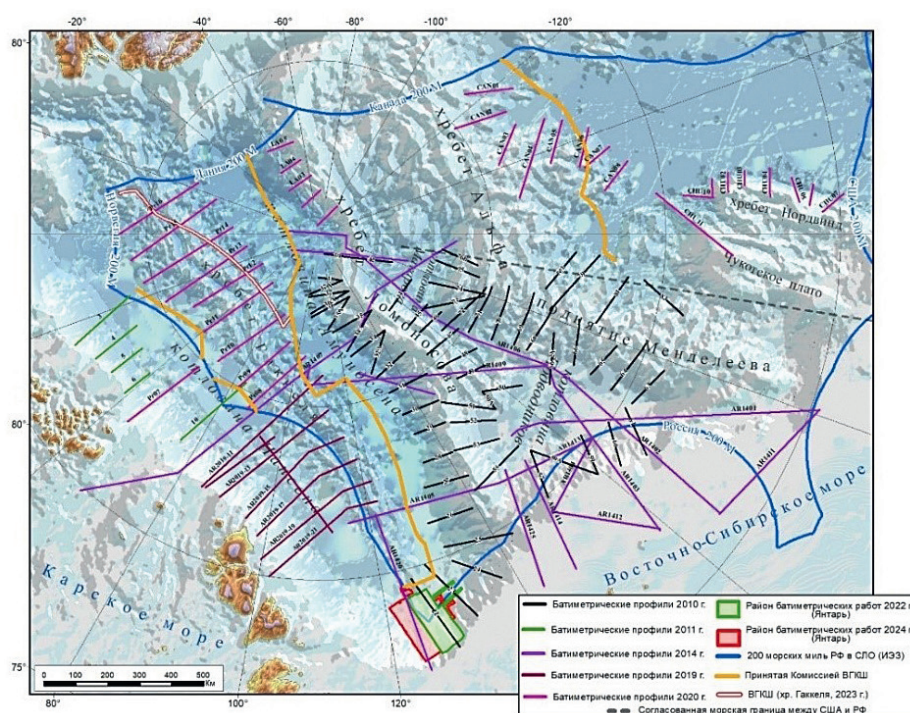


Рис. 1. Российская батиметрическая изученность Северного Ледовитого океана для обоснования ВГКШ в 2010–2024 гг.  
Fig. 1. Russian Bathymetric Coverage of the Arctic Ocean for Substantiating the Outer Limit of the Continental Shelf in 2010–2024

<sup>2</sup> Частичное пересмотренное Представление Российской Федерации в Комиссию по границам континентального шельфа в отношении континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане. 2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.un.org/depts/los/clcs\\_new/submissions\\_files/rus03/2023rusrev3r.pdf](https://www.un.org/depts/los/clcs_new/submissions_files/rus03/2023rusrev3r.pdf).

Лаптевоморский фланг хребта Гаккеля, включая сектор континентальной окраины моря Лаптевых, давно привлекает морских геологов, изучающих Евразийский бассейн СЛО. Данные о рельефе дна до последнего времени были довольно отрывочными и недостаточными для необходимой геологической изученности этого района, частично расположенного внутри исключительной экономической зоны России. В рельефе дна находит отражение геологическая структура и запечатлены результаты действия эндогенных и экзогенных сил. Рельеф контролирует проявление широкой группы процессов обмена вещества и энергии в системе «шельф – глубоководный бассейн».

Специфика лаптевоморского сектора континентальной окраины Евразии заключается в том, что шельф здесь является мелководным и аномально узким. Другая важная особенность этого сектора континентальной окраины состоит в том, что к ней подходит срединно-океанический хребет Гаккеля.

Зона сочленения хребта с континентальной окраиной до недавнего времени привлекала исключительно научное внимание. Результаты геофизических исследований, выполненных в этом районе, опубликованы во многих работах, включая, например, исследования [2], [3]. Проблема отчасти состояла в отсутствии надежных сведений о рельефе дна. Район продолжения хребта Гаккеля к юго-востоку от впадины с рабочим названием «впадина Киселева», которую в зарубежных публикациях часто называют Gakkel Ridge Deep, является наименее изученным в батиметрическом отношении. Согласно Газетиру GEBCO<sup>3</sup>, единственный топоним подводного рельефа в этом районе обозначен как «Долина Садко» (Sadko Valley). Современные российские батиметрические съемки обнаружили в этом районе, который в дальнейшем будем называть «зоной Садко», ранее неизвестные подводные горы и другие отличительные формы подводного рельефа, которые до сих пор остаются безымянными.

В международных батиметрических моделях<sup>4,5</sup> район зоны Садко показан на основе двух галсов многолучевой съемки, выполненной научно-исследовательским ледоколом «Полярштерн» PS-72 (2008 г.) и PS-78 (2011 г.), вдоль простираения этой структуры до границы исключительной экономической зоны РФ и далее к изобате 500 м.

Оценка текущего состояния батиметрической изученности СЛО по состоянию на 2024 г. (батиметрическая модель IBCAO версии 4) была представлена в работе [4]. Авторы статьи, являющиеся признанными авторитетами в части картографирования СЛО и членами редколлегии IBCAO, утверждают, что в СЛО имеются несколько районов с недопустимо низкой батиметрической изученностью.

Оценка состояния батиметрической изученности СЛО на основе реальных глубин, полученных от МЛЭ и использованных для создания модели IBCAO v.5, представлена в работе [5]. В этой работе было проведено сравнение данных многолучевой съемки, положенных в основу моделей IBCAO v.4 и v. 5 на основе применения технологии регулярной сетки TID (Type Identifier), реализованной в некоторых геоинформационных системах. Результаты сравнения IBCAO v. 4 и 5 представлены на рис. 2.

Реальные батиметрические данные моделей IBCAO v. 4 и IBCAO v. 5, доступные для экспорта в виде данных из регулярных сетей, известны как Type Identifier Data (TID). Они позволяют извлекать из батиметрических моделей оценки глубин из центров ячеек грида и выполнять сравнение реальных данных о глубинах, полученных по результатам многолучевой съемки. Анализ батиметрических данных TID, положенных в основу сравнения моделей IBCAO v. 4 и 5, позволяет сделать вывод о том, что новые данные по лаптевоморскому сектору континентальной окраины в них отсутствуют.

<sup>3</sup> Undersea Feature Names. A digital gazetteer of the names of features on the seafloor <https://www.gebco.net/data-products/undersea-feature-names#toc-a-digital-gazetteer-of-the-names-of-features-on-the-seafloor>.

<sup>4</sup> The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO v.5). [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/arctic\\_ocean/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/arctic_ocean/) (дата обращения: 27.06.2028 г.).

<sup>5</sup> The GEBCO 2025 Grid [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gebco.net/data-products-gridded-bathymetry-data/gebco2025-grid> (дата обращения: 27.08.2026).

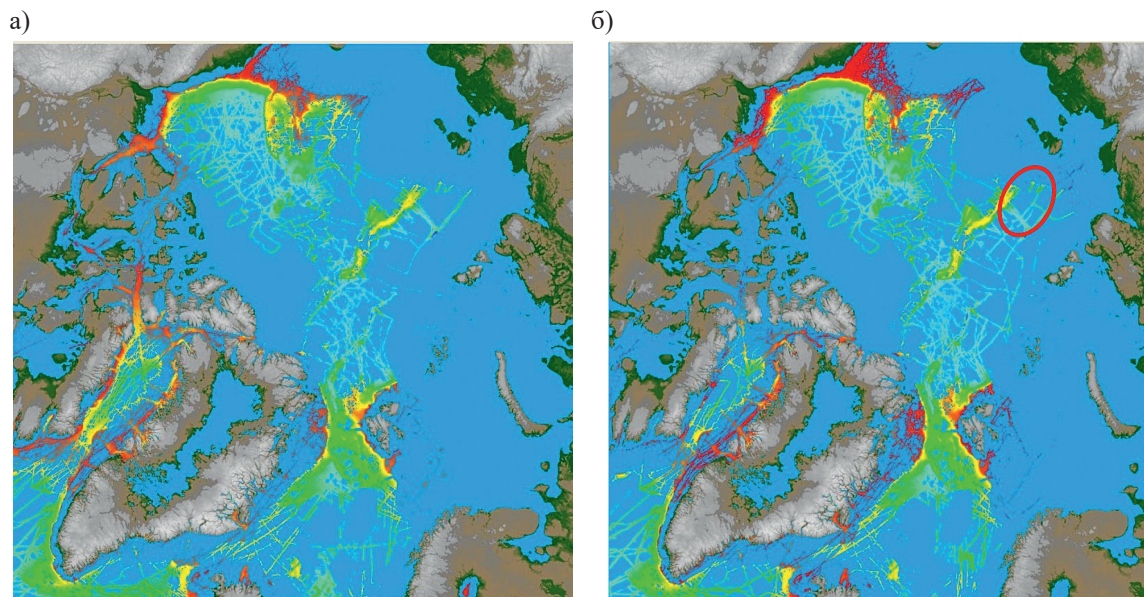


Рис. 2. Сравнение данных многолучевой батиметрической съемки, использованных в батиметрических моделях IBCAO:

а — батиметрическая модель IBCAO v.4; б — батиметрическая модель IBCAO v.5

Fig. 2. Comparison of Multibeam Bathymetric Survey Data Used in the IBCAO Bathymetric Models:  
а — IBCAO v.4; б — IBCAO v.5

Новое частичное пересмотренное Представление в Комиссию по границам континентального шельфа в отношении континентального шельфа Российской Федерации в СЛЮ в районе хребта Гаккеля было подано в 2023 г.<sup>6</sup> Оно находится в стадии рассмотрения Комиссии и требует усиления доказательств в части классификации хребта Гаккеля в качестве подводного хребта в категориях ст. 76 Конвенции по морскому праву 1982 г. Для классификации хребта Гаккеля как подводного хребта требуется предоставление детальных батиметрических данных, подтверждающих его непрерывность и пространственную связь с евразийским континентом.

Первая российская маршрутная многолучевая батиметрическая съемка в лаптевоморском секторе континентальной окраины была выполнена на НЭС «Академик Федоров» в 2020 г. [6]. Для получения детальной батиметрической информации, необходимой для решения указанных задач, в 2022 и 2024 гг. Федеральным агентством по недропользованию «Роснедра», были организованы комплексные экспедиционные работы на океанографическом исследовательском судне (ОИС) «Янтарь» (рис. 3), принадлежащем Главному Управлению глубоководных исследований Министерства обороны (ГУГИ МО).

ОИС «Янтарь» оборудован автоматизированным гидрографическим комплексом на базе глубоководного многолучевого эхолота (МЛЭ) SeaBat-7150 (фирма RESON-TELEDYNE) с частотой 12 /24 кГц. Детальная площадная съемка рельефа выполнялась под управлением электронных гидрографических систем (ЭГИС) QINSy (фирма QPS) и PDS TELEDYNE. Возможности МЛЭ SeaBat-7150 на глубине 2000 м при скорости хода 6 уз ( $\approx 3$  м/с) позволили получать батиметрические данные в виде отметок глубин на дне с высокой плотностью и создавать на этой основе детальные 2D/3D геоизображения подводного рельефа.

Первичные батиметрические данные МЛЭ SeaBat-7150 рейсов ОИС «Янтарь» 2022 и 2024 гг. были обработаны специалистами ООО «Гидро-Си» с использованием современных гидрографических программных продуктов и представлены в виде файлов формата \*.csar (файлы батиметрического архива фирмы CARIS).

<sup>6</sup> Частичное пересмотренное представление Российской Федерации в отношении континентального шельфа Российской Федерации в юго-восточной части Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. 2023. 16 с. [https://www.un.org/depts/los/clcs\\_new/submissions\\_files/rus02\\_rev23/23rusrev2r.pdf/](https://www.un.org/depts/los/clcs_new/submissions_files/rus02_rev23/23rusrev2r.pdf/).



Рис. 3. Океанографическое исследовательское судно «Яantar»

Fig. 3. Oceanographic Research Vessel Yantar

(<https://vk.ru/@shipyardyantar-oceanograficheskoe-issledovatel'skoe-sudno-yan-tar-v-antarkti>)

По результатам детальной батиметрической съемки из программного пакета CARIS HIPS были экспортированы полностью обработанные данные в виде отметок исправленных глубин (облако точек). При этом расстояния между отметками глубин на глубине 2000 м составило 20–25 м. Впервые были построены цифровые модели рельефа (ЦМР) с размерностью регулярной сетки 40–100 м в зависимости от глубины. На ЦМР с размерностью ячейки регулярной сетки 40 м участникам экспедиции впервые удалось визуально обнаружить поле предположительно с грязевыми вулканами на глубине 2000 м.

Съемка рельефа дна в 2024 г. выполнялась способом площадного обследования со 100%-м батиметрическим покрытием на основе использования многолучевого эхолота Teledyne Reson SeaBat 7150-B. По классификации Стандартов шестой редакции МГО S-44 (2022) съемка рельефа дна выполнялась в соответствии с требованиями ко второй категории съемок рельефа дна. Всего было выполнено 4 540 линейных километров съемки рельефа дна с использованием многолучевого эхолота SeaBat 7150-B.

При выполнении съемок рельефа дна в 2024 г. многолучевым эхолотом для вычисления значений исправленных глубин в режиме реального времени в программном обеспечении данные корректировались с учетом реального вертикального профиля распределения скорости звука в воде, а также вводились все необходимые поправки.

Для обеспечения качества съемки рельефа дна на этапе ее подготовки необходимо выполнение тестовых проверок и калибровок оборудования. В состав тестовых проверок и калибровок входит выполнение следующих операций: тестирование и калибровка систем определения планового положения и курсоуказания при стоянке судна у причала; определение постоянных поправок установочных углов излучающей и приемной антенн многолучевого эхолота на морском полигоне (калибровка многолучевого эхолота); выполнение тестовой многолучевой съемки на морском полигоне.

В 2024 г. измерения скорости распространения звука в воде проводились прямым методом с помощью зонда измерителя скорости звука Mini SVP фирмы Valeport. Точность измерения скорости звука этим прибором составляет не менее 0,1 м/с. Всего в процессе проведения съемки рельефа дна выполнено девять станций измерения скорости звука.

Измерения профиля вертикального распространения скорости звука в воде выполнялись для обеспечения качества батиметрических данных. В процессе обработки батиметрических данных проводился контроль корректности учета профиля скорости звука для батиметрических данных, в частности на контрольных пересечениях. Кроме того, проводился контрольный перерасчет профилей распространения звука в воде, чтобы удостовериться в том, что использован корректный профиль скорости звука и влияние изменений в профилях скорости распространения звука в воде

на качество данных незначительное. Постоянно проводился контроль батиметрических данных по контрольным пересечениям, чтобы удостовериться в том, что изменения скорости распространения звука не оказывают значительного влияния на изменение качества данных.

Апостериорные неопределенности исправленных глубин рассчитывались с использованием гидрографического программного обеспечения в рамках применения процедур анализа и контроля качества результатов съемки рельефа дна. Для оценки апостериорных неопределенностей исправленных глубин использовано несколько различных независимых способов:

- анализ расхождений глубин в области контрольных пересечений полос покрытия МЛЭ;
- анализ расхождений глубин в зонах наложений на батиметрических галсах 2024 гг. на основе данных, полученных с использованием МЛЭ;
- контроль качества результатов съемки рельефа дна с использованием технологии CUBE.

После окончательной обработки был проведен статистический анализ расхождений глубин цифровой модели рельефа дна с измеренными глубинами на контрольных пересечениях, полученных по данным многолучевого эхолота. Для проведения этого анализа в программном комплексе CARIS HIPS/SIPS Professional был сформирован стандартный отчет контроля качества (HIPS quality control report). Отчет контроля качества, создаваемый с учетом требований Стандарта МГО S-44 (2022), включает следующие статистические параметры: максимальное и минимальное значения расхождений глубин контрольных галсов со значениями цифровой модели рельефа дна, среднее значение расхождений глубин и стандартное отклонение расхождений. Кроме того, отчет включает процент соответствия / несоответствия расхождений допустимому интервалу, когда расхождения глубин цифровой модели и контрольного галса сравниваются с допустимыми значениями неопределенности на уровне доверительной вероятности 95 %, предписанной Стандартом МГО S-44 (2022) для второй категории съемки.

Анализ апостериорной точности результатов площадной съемки рельефа в 2024 г. выполнялся на основе данных о расхождениях глубин на контрольных галсах в зонах пересечений полос обзора МЛЭ. При этом по результатам камеральной обработки данных МЛЭ в 2024 г. для основных и контрольных галсов района по всем пересечениям получены следующие оценки:

- среднее значение расхождений между оценками глубин цифровой модели рельефа дна основных галсов и глубин контрольных галсов в зонах пересечений составило 0,03 м (количество расхождений глубин более 14,5 млн), что свидетельствует об отсутствии систематических ошибок;
- среднее значение неопределенности на уровне доверительной вероятности 95 % по всем пересечениям составило 6,03 м, или 0,24 % от глубины, что значительно меньше допустимой суммарной вертикальной неопределенности (TVU) глубины для второй категории съемок в соответствии со Стандартом МГО S-44 (2022).

Анализ соответствия расхождений в глубинах допустимому интервалу, соответствующему требованиям стандарта МГО S-44 (2020), дает основание утверждать, что расхождения в глубинах, измеренных многолучевым эхолотом на основных галсах (по результатам отчетов CARIS HIPS quality report), в 100 % случаев всех контрольных пересечений попадают в интервал, соответствующий второй категории съемок. Анализ качества площадной съемки МЛЭ, выполненной на основе статистической обработки пересечений, показал, что батиметрические данные по результатам работ 2024 г. соответствуют требованиям по точности стандарта МГО S-44 (2022) для второй категории съемки (глубины более 200 м).

Результаты анализа качества площадной съемки многолучевым эхолотом, выполненной в 2024 г., наглядно демонстрируют отсутствие систематических ошибок в площадной съемке. Полученные результаты оценки качества результатов съемки на основе технологии CUBE демонстрируют, что данные соответствуют требованиям по точности Стандарта МГО S-44 (2022) для второй категории съемок рельефа дна.

Оценка качества съемки с использованием технологии CUBE имеет преимущество, так как позволяет анализировать не только отдельные пересечения, но и охватить все полосы покрытия МЛЭ

на галсах съемки рельефа дна. Полученные результаты оценки точности данных съемки 2024 г. на основе технологии CUBE подтверждают выполнение требований Стандарта МГО S-44 (2022) с точки зрения точности исправленных глубин, а также позволяют контролировать качество обработки данных съемки рельефа дна с использованием МЛЭ, подтверждая отсутствие грубых ошибок.

Все использованные методы контроля качества батиметрических съемок 2022 и 2024 гг. показали близкие непротиворечивые результаты, подтвердив соответствие требованиям по точности второй категории съемок Стандарта МГО S-44 (2022). На основе этих данных могут быть созданы различные варианты ЦМР дна, обеспечивающие возможности 2/3D визуализации в зависимости от целей исследования и интерпретации рельефа дна.

### Результаты (Results)

На основе отечественных (см. рис. 1) и доступных зарубежных данных, включая информацию регулярных сетей TID модели IBСАО версий 5 (см. рис. 2), для района юго-восточного сегмента хребта Гаккеля была создана ЦМР с размером ячейки регулярной сетки 200 м, представленная на рис. 4. Рельеф сформирован с использованием зарубежных и отечественных съемок с применением данных МЛЭ, а также отечественных ретроспективных данных, полученных с учетом автоматизированных методов геоморфологического картирования.

На батиметрической модели, представленной на рис. 4, сечение изобат составляет 200 м, в красной рамке схематически показан район площадной съемки рельефа, выполненной ОИС «Янтарь» в 2022 и 2024 гг.

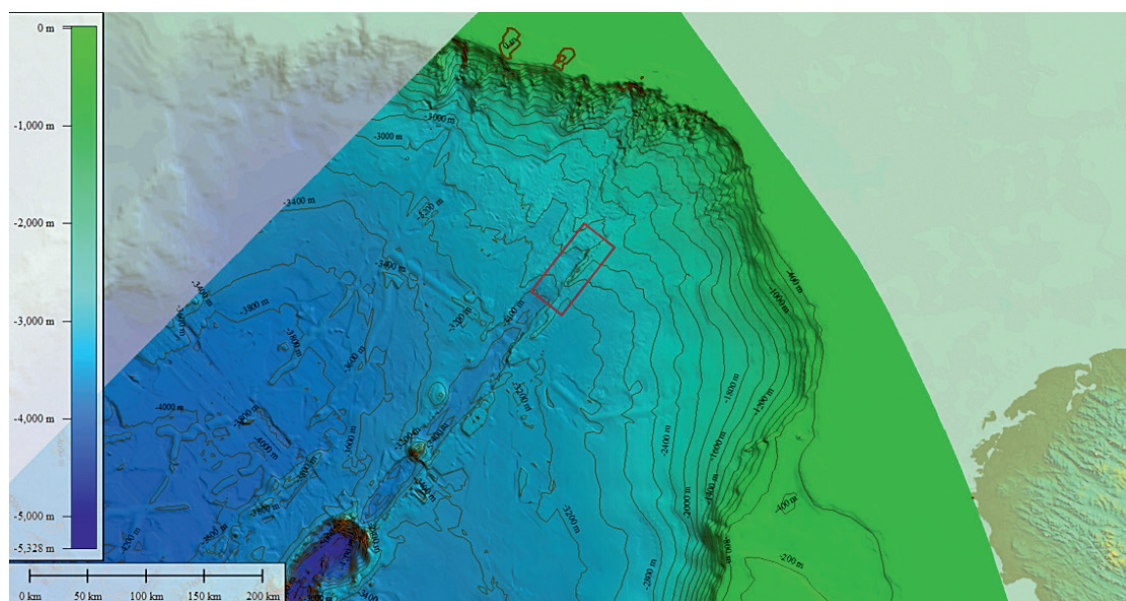


Рис. 4. Батиметрическая модель района юго-восточного сегмента хребта Гаккеля с размером ячейки регулярной сетки 200 м

Fig. 4. Bathymetric Model of the Southeastern Segment of the Gakkel Ridge with a Regular Grid Cell Size of 200 m

На рис. 5 представлены результаты батиметрической съемки 2022 и 2024 гг. в виде ЦМР с размерностью ячейки регулярной сетки 50 м и сечением изобат 200 м. ЦМР построена на основе файла отфильтрованных и исправленных отметок глубин МЛЭ.

Высокая плотность отметок глубин, полученная в процессе батиметрических съемок 2022 и 2024 гг., позволила получить детальное изображение рельефа дна на глубинах 2500–2900 м. На рис. 6 в красной рамке показан район морского дна в рифтовой долине южного продолжения хребта Гаккеля с отличительной вновь открытой формой рельефа в виде эскарпа (escarp) — практически отвесного откоса на западном фланге рифтовой долины.

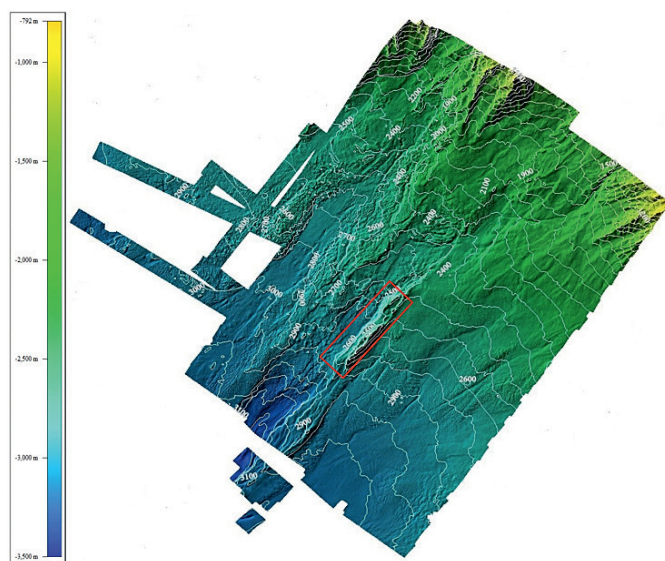


Рис. 5. ЦМР с размерностью ячейки регулярной сетки 50 м и сечением изобат 200 м

Fig. 5. Digital Terrain Model with a Regular Grid Cell Size of 50 m and a Contour Interval of 200 m

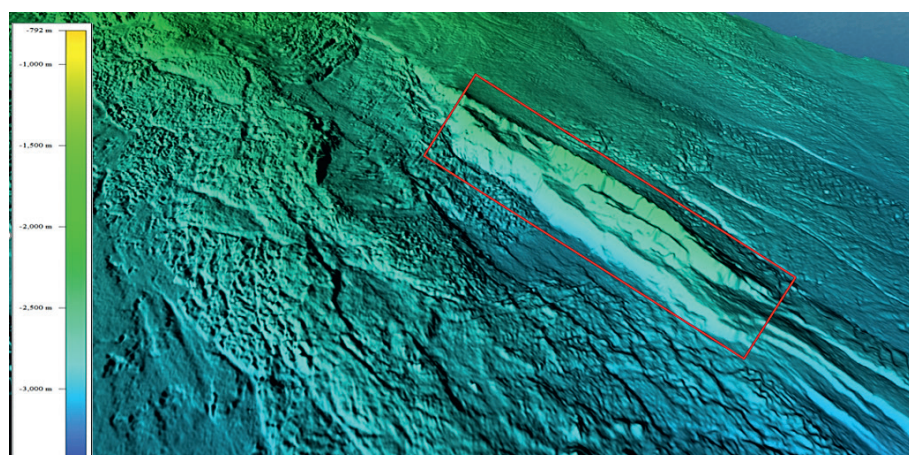


Рис. 6. Трехмерное изображение отвесного откоса (эскарпа) на западном фланге рифтовой долины южного продолжения хребта Гаккеля

Fig. 6. Three-Dimensional Image of the Escarpment on the Western Flank of the Rift Valley of the Southern Extension of the Gakkel Ridge

Предлагается дать рабочее название данного эскарпа «Эскарп Аветисова» и выйти с предложением от «ВНИИОкеангеология» в подкомиссию SCUFN ГЕБКО об официальном наименовании данной формы рельефа.

На рис. 7 представлено совмещенное 2D изображение эскарпа и батиметрический профиль, проведенный нормально к оси рифтовой долины и протяженности эскарпа в его середине. Вершины эскарпа находятся на глубинах от 2 400–2 600 м. Эскарп имеет общую длину до 26 500 м и высоту над дном рифтовой долины в пределах 350–500 м.

Современные МЛЭ наряду с получением информации в виде файлов глубин с их координатами, на основе которых возможно создание батиметрических моделей дна, могут обеспечивать регистрацию интенсивности обратного рассеивания эхо-сигнала (бекскаатер) из пятен облучения дна и тем самым создавать акустическое изображение в виде растра на основе первичных данных МЛЭ Reson SeaBat 7150-B (Teledyne), записанных в файлах формата \*.s7k.

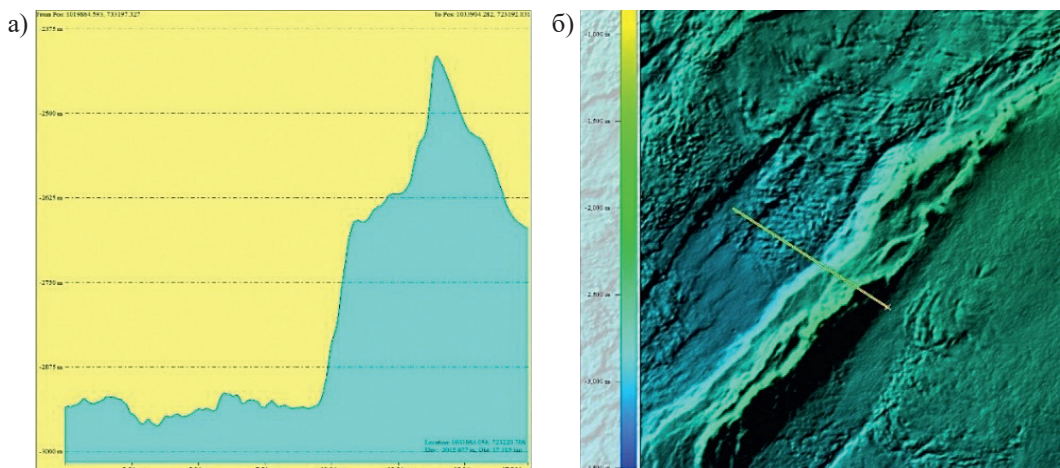


Рис. 7. Совмещенное 2D изображение эскарпа (а) и батиметрический профиль в его середине (б)  
Fig. 7. Combined 2D Image of the Escarpment and a Bathymetric Profile across Its Middle Section

В процессе изучения возможности получения данных об интенсивности обратного рассеивания была освоена технология извлечения из первичных данных МЛЭ фирмы RESON (формат s7k) информации об интенсивности обратного рассеивания эхо-сигнала. Данная технология называется «опция гидролокатора бокового обзора МЛЭ» и может быть использована для дистанционного анализа донного грунта.

Работа по извлечению бэкскаппер из первичных данных МЛЭ Reson SeaBat 7150-B, полученных в рейсах 2022 и 2024 гг. ОИС «Янтарь», выполнялась в указанной последовательности:

1. Исходные файлы в формате \*.s7k были загружены в программный пакет (ПП) QIMERA для обработки первичного сигнала.
2. Далее данные были экспортированы в файлы стандартного обменного батиметрического формата \*.gsf.
3. Для дальнейшей обработки данных бэкскаппера использовался гидрографический ПП Fledermaus FMGT. Данные в формате \*.gsf были импортированы в ПО обработки бэкскаппера.
4. В процессе дальнейшей обработки файлов \*.gsf в ПП Fledermaus FMGT осуществлялось объединение отдельных полос обзора МЛЭ, содержащих данные бэкскаппера, и экспорт сформированного конечного продукта в геопроецированный растровый файл формата \*.tiff.

Акустическое изображение дна района съемки ОИС «Янтарь», выполненной в 2022 и 2024 гг., дано на рис. 8, а, цифровые модели рельефа (ЦМР) приведены на рис. 8, б [8].

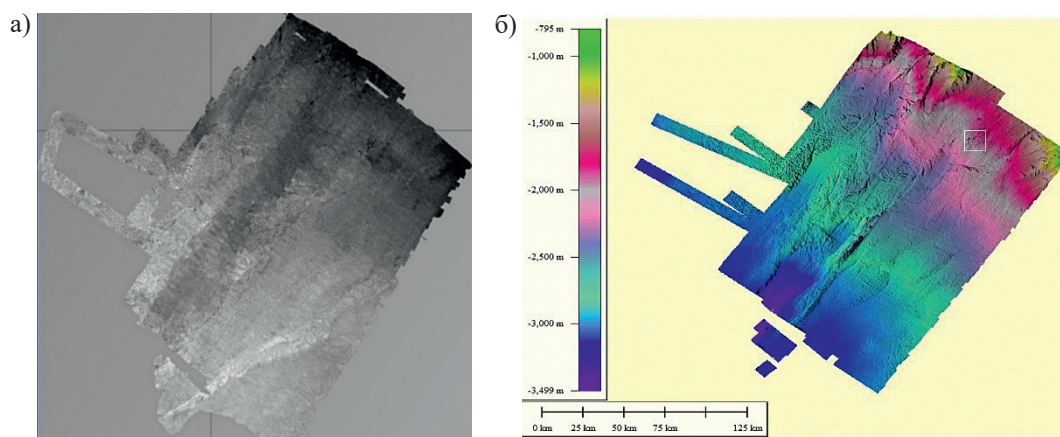


Рис. 8. Сравнение изображений дна района съемки ОИС «Янтарь» в 2022 и 2024 гг.:  
а — акустическое изображение дна (растровое изображение); б — ЦМР дна (векторное изображение)  
Fig. 8. Comparison of Seafloor Images of the Yantar Survey Area in 2022 and 2024:  
a — Acoustic Seafloor Image (Raster Image); b — Seafloor Digital Terrain Model (Vector Image)

Анализ способов сбора данных обратного рассеивания морского дна, реализованных в современных многолучевых эхолотах, представлен в работе [7].

Автоматизированное распознавание донных грунтов, реализованное в программном пакете Fledermause FMGT, представляет собой отдельную задачу, требующую наличия образцов грунта и в данном исследовании не рассматривается.

### Обсуждение (Discussion)

По результатам обработки батиметрических данных в экспедиции 2024 г. из программного пакета CARIS HIPS были экспортированы файлы формата \*.csag. Данный формат, созданный фирмой TELEDYNE, объединяет данные батиметрической модели с заданной размерностью ячейки регулярной сетки глубин и все исправленные глубины с их координатами. Из этого формата могут быть экспортированы исправленные отметки всех глубин в географической системе координат. Недостатком формата \*.csag является отсутствие в нем метаданных, которые необходимо представлять в цифровом виде.

При этом расстояния между отметками глубин на глубине 2000 м составило 20–25 м. Такая детальность позволяет использовать альтернативный метод создания ЦМР в виде нерегулярной треугольной сети (TIN = Triangulated Irregular Network). Модель поверхности, построенная в виде 2D/3D нерегулярной треугольной сети (TIN), наглядно показывает положение на дне малоразмерных объектов, предположительно грязевых вулканов. Модель поверхности дна в варианте 3D TIN с визуализацией положения на дне малоразмерных экзогенных объектов на поверхности морского дна показана на рис. 8 [8]. Положение 3D модели TIN, приведенной на рис. 9, показано на рис. 8, б в виде рамки белого цвета.

Возможности современных МЛЭ пятого поколения и гидрографического программного обеспечения постоянно возрастают. Современный МЛЭ способен кроме батиметрии обеспечить получение растровых акустических изображений дна (изображения МЛЭ — опция гидролокатора бокового обзора), а также регистрацию акустических данных о наличии объектов в водной толще.

Внедрение в практику новых гидроакустических технологий открывает новый этап исследования морского дна. Морские геологи нередко недооценивают возможности современных МЛЭ / БГБО и современного гидрографического программного обеспечения для получения информации о морском дне. Методы получения акустических данных об объектах в водной толще вместе с выполнением батиметрической съемки с МЛЭ рассмотрены в работе [9].

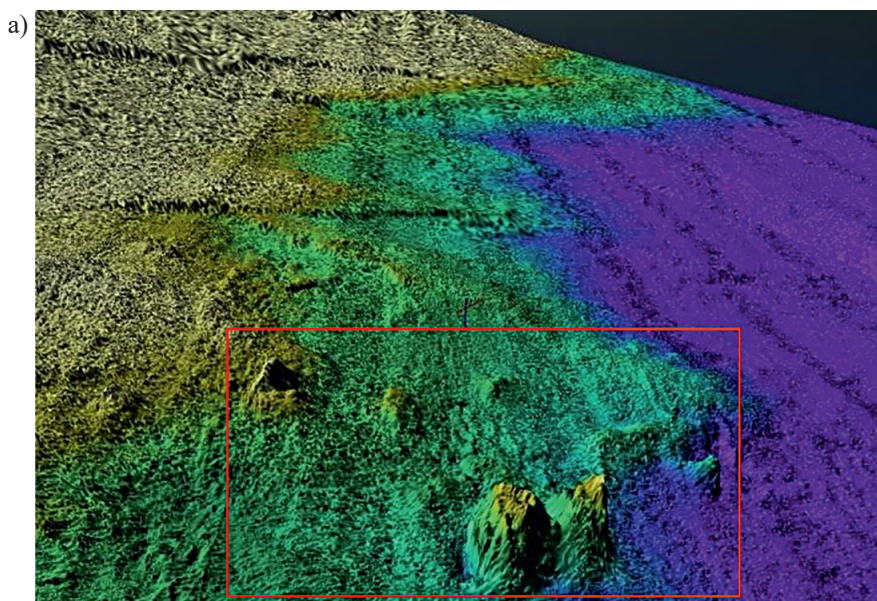
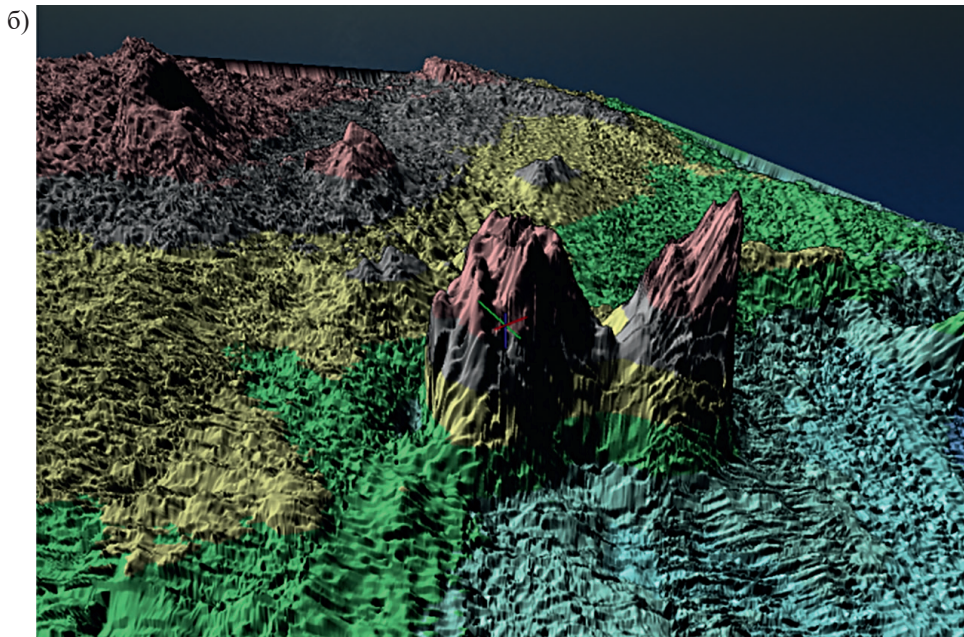


Рис. 9. (Начало). Модель поверхности в виде 3D TIN, с положением на дне малоразмерных объектов: а — общий вид района с экзогенными объектами  
Fig. 9. (beginning). Surface Model as a 3D TIN Showing the Location of Small-Scale Seafloor Objects:  
a — General View of the Area with Exogenous Object



*Рис. 9. (Окончание). Модель поверхности в виде 3D TIN, с положением на дне малоразмерных объектов: б — детальный вид экзогенных объектов*  
*Fig. 9. (ending). Surface Model as a 3D TIN Showing the Location of Small-Scale Seafloor Objects: b — Detailed View of the Exogenous Objects*

Одним из препятствий для выполнения эффективной батиметрической съемки для обеспечения морских геологических работ является также отсутствие современного национального стандарта. Технологическая революция в гидрографии, связанная с переходом от аналоговых к цифровым и компьютерным технологиям, вызвала необходимость создания новых норм и правил выполнения съемки рельефа, которые были выдвинуты в Стандартах Международной гидрографической организации. Проект новых Правил гидрографической съемки в целях обеспечения безопасности мореплавания разрабатывается в Управлении Навигации и океанографии Министерства обороны. Навигационно-гидрографическое и геодезическое обеспечение морских геолого-разведочных работ включало решение ряда специальных задач, нормированных в устаревшей Инструкции ИНГТО-86<sup>7</sup>. Поскольку в новом варианте Инструкции по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ<sup>8</sup> раздел по нормированию батиметрической съемки отсутствует, ее следует актуализировать с включением правил выполнения современной батиметрической съемки с применением МЛЭ.

Отечественные батиметрические съемки 2022 и 2024 гг., выполненные в «зоне Садко» на ОИС «Янтарь» с использованием МЛЭ, показали особенности геоморфологического и геологического строения этой зоны [10]. Детальная площадная батиметрическая съемка в этом районе выполнялась впервые.

Использование ОИС «Янтарь» для геологических целей наиболее удобно, поскольку судно является носителем глубоководного обитаемого подводного аппарата и телеуправляемого необитаемого подводного аппарата, имеет гидроакустическую навигационную систему и систему динамического позиционирования, которые позволяют эффективно эксплуатировать судно для различных исследовательских целей, включая морские геологические работы.

<sup>7</sup> Инструкция по навигационно- гидрографическому и геодезическому обеспечению морских геологоразведочных работ (ИНГТО-86). Министерство геологии СССР. М., 1986. 104 с.

<sup>8</sup> Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ (утв. Министерством природных ресурсов РФ 3 декабря 1996 г.) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293763/4293763666.htm> (дата обращения: 01.4.2026).

### Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Детальное изучение рельефа дна является одним из основных условий успешного проведения морских геологоразведочных работ.
2. Современные гидроакустические технологии МЛЭ и ГБГО и гидрографическое программное обеспечение позволяют получать детальную информацию о морском дне. Данная информация требует необходимой обработки, включая всестороннюю оценку качества с целью получения достоверных цифровых моделей рельефа и акустических изображений дна.
3. В 2022 и 2024 гг. на ОИС «Янтарь» была выполнена детальная съемка рельефа дна с использованием МЛЭ SeaBat-7150 и получены батиметрическая модель, акустическое изображение дна, а также все исправленные глубины с точностью, регламентируемой Стандартами S-44 МГО.
4. В случае использования МЛЭ для обеспечения морских геологических работ рекомендуется при выполнении окончательной обработки первичных данных формировать акустическое изображение дна (опция ГБО МЛЭ), интерпретация которого дает дополнительную актуальную информацию.
5. При выполнении современной батиметрической съемки для обеспечения морских геологических работ с использованием гидрографических информационных технологий фирмы TELEDYNE следует архивировать результаты съемки рельефа в файлах формата\*.csar (так называемый архив CASIS), обеспечивающих возможность сохранения всех исправленных отметок глубин в географической системе координат.
6. Новые данные съемок 2022 и 2024 гг. позволили уточнить детали строения участка рифтовой долины хребта Гаккеля к юго-востоку от впадины Киселева и прилегающих к ней площадей, объединенных рабочим названием «зона Садко». Были конкретизированы границы, особенности и размеры грядовых и долинных форм, выявлены несколько генераций оползневых тел, уточнено их распространение, что обеспечило поддержку нового частичного Представления РФ на расширенный континентальный шельф в юго-восточной части Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана.
7. В ходе проведенных работ в очередной раз проявилась недостаточность отечественной топонимической базы в Арктическом бассейне. Отсутствие необходимых географических названий затрудняет географическую привязку и описание результатов работ. Требуют своего наименования новые и давно известные объекты морского дна, в названиях которых необходимо увековечить имена представителей предшествующих поколений самоотверженных исследователей Российской Арктики.
8. Отсутствие в Российской Федерации норм и правил выполнения площадных батиметрических съемок для обеспечения морских геологических работ затрудняет внедрение новых IT-технологий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пискарев А. Л. Арктический бассейн (геология и морфология): монография / под ред. В. Д. Каминского / А. Л. Пискарев. — СПб.: Изд-во ВНИИОкеангеология, 2017. — 291 с. — EDN JLNMUJ.
2. Гусев Е. А. Прилаптевоморское окончание хребта Гаккеля / Е. А. Гусев, А. В. Зайончек, М. В. Мэннис [и др.] // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. — СПб.: ВНИИОкеангеология. 2002. — Вып. 4. — С. 40–54. — EDN UZURFR.
3. Пискарев А. Л. Строение зоны перехода шельф моря Лаптевых–Евразийский бассейн (Северный Ледовитый океан) / А. Л. Пискарев, Г. П. Аветисов, А. А. Киреев [и др.] // Геотектоника. — 2018. — № 6. — С. 3–24. — EDN VKZXYJ. — DOI: 10.1134/S0016853X18060061.
4. Jakobsson M. Polar Region Bathymetry: Critical Knowledge for the Prediction of Global Sea Level Rise / M. Jakobsson, L. A. Mayer // Frontiers in Marine Science. — 2022. — Vol. 8. — 788724. — EDN CUUDTK. — DOI: 10.3389/fmars.2021.788724.
5. Jakobsson M. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean Version 5.0 / M. Jakobsson, R. Mohammad, M. Karlsson, S. Salas-Romero [et al] // Scientific Data. — 2024. — Vol. 11 (1420). — EDN ZRNVJL. — DOI: 10.1038/s41597-024-04278-w.

6. Каминский Д. В. Новые данные о строении Лаптевоморского фланга хребта Гаккеля (Северный Ледовитый океан) / Д. В. Каминский, Н. П. Чамов, Д. М. Жилин [и др.] // Литология и полезные ископаемые. — 2024. — № 6. — С. 634–647. — EDN WVQJQL. — DOI: 10.31857/S0024497X24060028.

7. Колосков Е. Н. Способы сбора данных обратного рассеивания морского дна, реализованные в современных многолучевых эхолотах / Е. Н. Колосков, Б. А. Корнипаев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6(40). — С. 96–105. — EDN XHLRKY. — DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-96-105.

8. Зинченко А. Г. Новые данные о рельефе прилаптевоморского сектора континентального склона Евразийского бассейна (по результатам батиметрических съемок 2022 и 2024 гг.) / А. Г. Зинченко, С. В. Егоров, Ю. Г. Фирсов [и др.] // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2024. Вып. 11. — С. 146–157. — EDN KLOYKM. — DOI: 10.24412/2687-1092-2024-11-146-157.

9. Колосков Е. Н. Применение современных гидрографических технологий для изучения рельефа и донного газопоявления в северных морях России / Е. Н. Колосков, Ю. Г. Фирсов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 3 (31). — С. 54–62. — EDN TWPZAN. — DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-54-62.

10. Каминский Д. В. Первые результаты исследований области сочленения хребта Гаккеля с шельфом моря Лаптевых в экспедиции «Арктика-2024» / Д. В. Каминский, А. А. Крылов, В. Ю. Татаринов [и др.] // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. — 2024. — Вып. 11. — С. 166–175. — EDN LXLXHZ. — DOI: 10.24412/2687-1092-2024-11-166-175.

## REFERENCES

1. Piskarev, A. L., V. A. Poselov, V. D. Kaminskiy et al. *Arctic basin (geology and morphology)*. Sankt-Peterburg : Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie "Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut geologii i mineral'nykh resursov Mirovogo okeana imeni akademika I.S. Gramberga", 2017: 291.

2. Gusev, E. A., A. V. Zayonchek, M. V. Mennis et al. "The end of the gakkel ridge in the laptev sea." *Geologo-geofizicheskie kharakteristiki litosfery arkticheskogo regiona* Sankt-Peterburg : VNIIOkeangeologiya, 2002: 40–54.

3. Piskarev, A. L., G. P. Avetisov and A. A. Kireev et al. "Structure of the Laptev Sea Shelf–Eurasian Basin Transition Zone (Arctic Ocean)." *Geotectonics* 52.6 (2018): 589–608. DOI: 10.1134/S0016852118060067.

4. Jakobsson, M. and L. A. Mayer. "Polar Region Bathymetry: Critical Knowledge for the Prediction of Global Sea Level Rise." *Frontiers in Marine Science* Volume 8 - 2021 (2022). DOI: 10.3389/fmars.2021.788724.

5. Jakobsson, M., L. Mayer et al. "The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean Version 5.0." *Scientific Data* 11.1 (2024): 1420. DOI: 10.1038/s41597-024-04278-w.

6. Kaminskiy, D. V., N. P. Chamov, D. M. Zhilin et al. "Novye dannye o stroenii Laptevomorskogo flanga khrebta Gakkelya (Severnyy Ledovityy okean)." *Litologiya i poleznye iskopaemye* 6 (2024): 634–647. DOI: 10.31857/S0024497X24060028.

7. Koloskov, E. N. and B. A. Kornipae. "Data backscatter seabed image in modern multibeam echo sounders." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(40) (2016): 96–105. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-96-105.

8. Zinchenko, A. G., S. V. Egorov, Yu. G. Firsov et al. "New data on the relief of the laptev sea sector of the eurasian basin continental slope (based on the results of bathymetric surveys in 2022 and 2024)." *Relief and Quaternary Deposits of The Arctic, Subarctic and North-West Russia* 11 (2024): 146–157. DOI: 10.24412/2687-1092-2024-11-146-157.

9. Koloskov, E. N. and Yu. G. Firsov. "Primenenie sovremennykh gidrograficheskikh tekhnologiy dlya izucheniya rel'efa i donnogo gazoproyavleniya v severnykh moryakh Rossii ." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(31) (2015): 54–62. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-54-62.

10. Kaminskiy, D. V., A. A. Krylov, V. Yu. Tatarinov et al. "The first results of research on the connection of the gakkel ridge with the laptev sea shelf in the arctic-2024 expedition." *Relief and Quaternary Deposits of The Arctic, Subarctic and North-West Russia* 11 (2024): 166–175. DOI: 10.24412/2687-1092-2024-11-166-175.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Фирсов Юрий Георгиевич —**

кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация,  
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [gidrograph@mail.ru](mailto:gidrograph@mail.ru), [kaf\\_gm@gumrf.ru](mailto:kaf_gm@gumrf.ru)

**Иванов Михаил Владимирович —**

ведущий инженер  
ФГБУ «ВНИИОкеангеология»,  
190121, Российская Федерация,  
Санкт-Петербург, Английский пр., д. 1  
e-mail: [falcon6565@mail.ru](mailto:falcon6565@mail.ru)

**Колосков Евгений Николаевич —**

ведущий инженер  
ФГБУ «ВНИИОкеангеология»,  
190121, Российская Федерация,  
Санкт-Петербург, Английский пр., д. 1  
e-mail: [evgenklskv@mail.ru](mailto:evgenklskv@mail.ru)

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Firsov, Yury G. —**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7, Dvinskaya Str., St. Petersburg,  
198035, Russian Federation  
e-mail: [gidrograph@mail.ru](mailto:gidrograph@mail.ru), [kaf\\_gm@gumrf.ru](mailto:kaf_gm@gumrf.ru)

**Ivanov, Michail V. —**

Leading Engineer  
FSBI “VNIIOkeangeologiya”  
1, Anglisky av., St. Petersburg,  
190121, Russian Federation  
e-mail: [falcon6565@mail.ru](mailto:falcon6565@mail.ru)

**Koloskov, Evgeniy N. —**

Leading Engineer  
FSBI “VNIIOkeangeologiya”  
1, Anglisky av., St. Petersburg,  
190121, Russian Federation  
e-mail: [evgenklskv@mail.ru](mailto:evgenklskv@mail.ru)

*Статья поступила в редакцию: 14 мая 2026 г.*

*Received: May 14, 2026.*