

# ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-81-95  
УДК 528.475

Ю. Г. Фирсов

## СОВРЕМЕННАЯ БАТИМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В КОНТЕКСТЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕШНИХ ГРАНИЦ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА В АРКТИКЕ

*Рассмотрены результаты батиметрической съемки, выполненной в Северном Ледовитом океане арктическими государствами с использованием современных гидрографических технологий, в течение последних 10 – 15 лет. Отмечается, что интерес к исследованию рельефа дна Центрального Арктического бассейна возник в последнее десятилетие в связи с проблемой определения внешней границы континентального шельфа в Арктике. В этот период арктические государства вступили в гонку по обоснованию внешних границ своего континентального шельфа. Точная батиметрическая съемка является основой для обоснования положения зоны основания континентального склона и поиска точки максимального изменения градиента на батиметрическом профиле — точки подножия континентального склона — основы для построения формульных линий рельефа в соответствии с требованиями ст. 76 Конвенции ООН по морскому праву. Одна из ограничительных линий связана с точным установлением положения изобаты 2500 м, что также требует проведение детальной съемки с использованием современных гидрографических технологий.*

*Дан краткий исторический обзор исследований рельефа Северного Ледовитого океана. Подчеркивается российский приоритет, отраженный в большинстве топонимов форм подводного рельефа, названных в честь отечественных исследователей, а также созданных батиметрических карт. Приводится обзор батиметрических работ, выполненных Данией, Канадой, США и Россией в период 2000 – 2016 гг., с использованием современных гидрографических технологий: многолучевых эхолотов и средств спутникового позиционирования, а также геоинформационного программного обеспечения. Отмечается, что эти работы были направлены в первую очередь на обоснование внешних границ континентального шельфа приарктических государств. Обсуждаются версии цифровой международной батиметрической карты Северного Ледовитого океана и источники данных, положенные в ее основу. Показаны имеющиеся в свободном доступе источники батиметрических данных и цифровые модели рельефа дна. Сделан вывод о том, что на сегодняшний день рельеф дна Американо-Арктического бассейна Северного Ледовитого океана является наиболее изученным. Приведены основные полученные результаты и оценка качества подводного рельефа по результатам многолучевой съемки на больших глубинах.*

*Ключевые слова: внешняя граница континентального шельфа, ст. 76 Конвенции ООН по морскому праву, Международная батиметрическая карта Северного Ледовитого океана (IBCAO), подножие континентального склона, площадная съемка дна, многолучевой эхолот, цифровая модель рельефа дна, качество батиметрической съемки.*

### Введение

До середины XX в. глубоководный Арктический бассейн Северного Ледовитого океана (СЛО), благодаря специфике климатических условий, труднодоступности и ограниченному времени проведения исследований, оставался во многом «белым пятном» на карте Земли. Начальный этап изучения СЛО во второй половине XX в. был во многом связан с решением военных задач в Арктике. На этом этапе был собран обширный и разнородный фактический материал, позволивший вручную создать батиметрические карты, которые в целом правильно отражают основные морфоструктуру Центрального Арктического бассейна.

В начале XXI в. в СЛО был выполнен ряд исследований как в научных целях, так и для решения задач установления границ расширенного континентального шельфа согласно Конвенции ООН по морскому праву. Важнейшей составляющей проводимых исследований является батиметрическая съемка. Целью данной работы является анализ результатов съемок, выполненных за последние годы. В ней сделан обзор современных батиметрических материалов, полученных

с использованием новых технических средств — многолучевых эхолотов и спутниковых систем позиционирования, показано применение информационных технологий для представления результатов съемок, а также представлены батиметрические базы данных, имеющиеся в открытом доступе в сети Интернет.

### Краткий исторический очерк изучения рельефа дна Северного Ледовитого океана

До середины XX в. исследования Арктического глубоководного бассейна носили эпизодический характер, и по оценке специалистов (на основании одиннадцати глубин, измеренных Ф. Нансеном на шхуне «Фрам»), в рельефе бассейн представлял собой единую глубоководную впадину. Начало исследований Арктического бассейна было положено в конце 40-х гг. XX в. советскими высокоширотными воздушными экспедициями под руководством Я. Я. Гаккеля, и к 1956 г. этими экспедициями было измерено более 400 глубин. Начиная с 1954 г. вследствие проведения работ советских полярников на дрейфующих станциях база батиметрических данных бассейна была значительно увеличена. По результатам исследований советских полярников был открыт хребет Ломоносова с минимальными глубинами 1005 м и изданы батиметрические карты, которые коренным образом изменили представления о рельефе дна бассейна [1], [2].

В 50-х гг. XX в. исследования центральной Арктики проводились также американскими полярниками, результатом которых было открытие отрога Марвина, а в 1957 – 1858 гг. и хребта Альфа [3], [7]. В 1959 г. зарубежными специалистами была выполнена подробная съёмка рельефа дна Чукотского поднятия. С конца 50-х гг. XX в. Военно-морские силы США проводили исследования Арктического бассейна с использованием атомных подводных лодок (АПЛ). Маршрутные работы выполнялись в основном в Евразийском суббассейне СЛО [3] – [5]. К 1960 г. отечественными и зарубежными экспедициями по разным оценкам было измерено от 7000 до 20000 глубин, расположенных крайне неравномерно по всему Арктическому бассейну [1]. Для того времени это был достаточно большой объём батиметрических данных, который позволял определить основные формы рельефа, их границы, наиболее общие черты морфологии и некоторые морфометрические характеристики форм.

Батиметрические карты, составленные Б. Хейзенем, М. Тарп и М. Юингом, включая карту Арктического бассейна, долгое время оставались основой для исследования рельефа дна Мирового океана. Объемное изображение рельефа дна Арктического бассейна создано этими авторами в виде физиографической карты издания 1971 г. [6] (рис. 1), а батиметрическая карта СЛО была издана в 1975 г. [7].

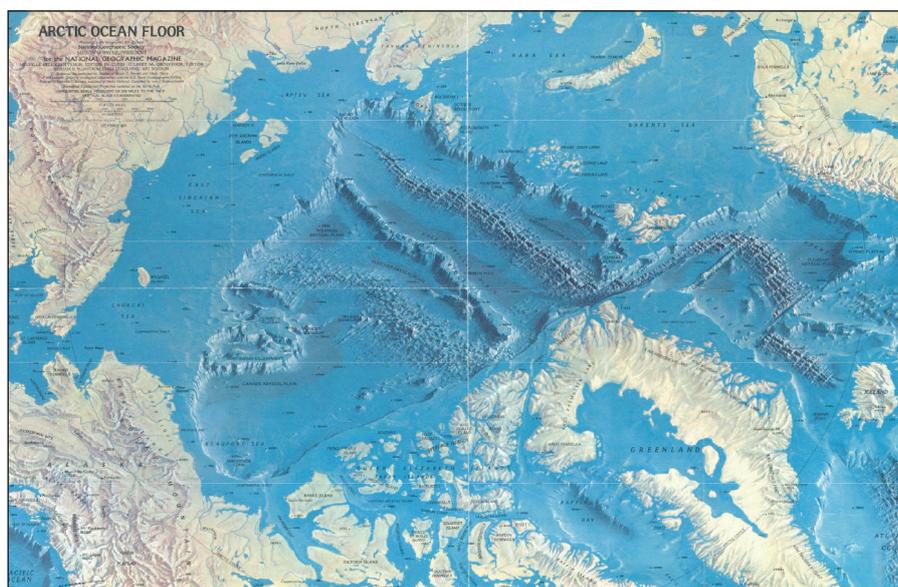


Рис. 1. Фрагмент карты рельефа дна Арктического бассейна, 1971 г.

Последующие отечественные и зарубежные исследования значительно увеличили базу батиметрических данных Арктического глубоководного бассейна. Из зарубежных работ того времени следует отметить экспедиции канадских полярников на хребтах Ломоносова (Лорекс-79) и Альфа (Цезарь-83), результаты которых позволили значительно уточнить рельеф хребтов приканадской части бассейна [5], [8].

Широкомасштабные систематические исследования Арктического бассейна проводились отечественными учеными на протяжении более 35 лет, начиная с 1961 г. Съёмка рельефа дна проводилась авиадесантным способом с дрейфующих льдов, подводных и надводных судов. В течение периода исследований практически вся акватория Арктического бассейна (более 80 % площади) была обследована высокоточным систематическим промером. Эхолотом со льда было измерено 21120 глубин, сейсмозондированием со льда — 17426 глубин, промер с подводных лодок составил более 92000 лин. км. Объём базы данных был значительно увеличен за счёт маршрутного промера, выполненного надводными судами и АПЛ России, а также дрейфующими станциями «Северный полюс». К настоящему времени подавляющее большинство этих материалов открыто для использования. Детальное описание зарубежных и отечественных работ приведено в монографии [9].

В Арктическом бассейне для объективной оценки рельефа и подробного отображения его на картах наиболее приемлемыми являются известные в гидрографии морфологические принципы анализа результатов исследований [10], основанные на использовании структурных линий рельефа, при построении которых образуется структурный каркас. Следует, однако, заметить, что при дефиците реальных измерений глубин морфологический анализ приобретает иногда субъективный характер.

По результатам отечественных и зарубежных работ Главным управлением навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации совместно с ВНИИОкеангеология в 1998 г. вручную была подготовлена батиметрическая карта с сечением рельефа 200 м на глубоководную часть Арктического бассейна [11]. В дальнейшем с учетом новых батиметрических данных, позволивших откорректировать рельеф дна некоторых районов бассейна, в 2002 г. в УНиО была подготовлена новая батиметрическая карта «Центральный Арктический бассейн» масштаба 1:2500000 (на четырех листах), адмиралтейский номер 91115 [12]. В дальнейшем в 2013 г. эта карта была переиздана с учетом новых отечественных данных, полученных в 2010 и 2011 гг. с использованием многолучевых эхолотов [13]. Необходимо отметить, что Россия имеет очевидный приоритет в исследованиях Арктического бассейна. Так, в Каталоге названий форм подводного рельефа (Газетёре) в Генеральной батиметрической карте океанов — ГЕБКО (GEBCO) из 177 названий форм подводного рельефа СЛО в честь российских исследователей — ученых и гидрографов, указаны 62 объекта [14].

С начала XXI в. в СЛО начали выполняться несколько проектов батиметрической съемки рельефа дна уже с использованием многолучевых эхолотов (МЛЭ). Были продолжены рейсы германского научно-исследовательского ледокола «Polarstern». С 2001 г. начал работу ледокол береговой охраны США «Healy», а с 2007 г. — шведский ледокол «Oden». Съёмки, выполненные в Центральном Арктическом бассейне, дали значительный объем достоверной и точной информации о рельефе дна. Первые интересные результаты были получены по проекту Arctic Mid Ocean Ridge Expedition (AMORE) на хребте Гаккеля в 2001 г. Совместная экспедиция в составе немецкого ледокола «Polarstern» и американского ледокола береговой охраны «Healy» выполнила батиметрическую съемку с использованием МЛЭ [15]. Появление новых точных и детальных данных о рельефе дна, а также геоинформационных компьютерных технологий позволили начать использование цифровых моделей рельефа (ЦМР) дна, что ознаменовало новый подход к созданию батиметрических карт.

### **Международная батиметрическая карта Северного Ледовитого океана**

Международная батиметрическая карта (The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)) в первой версии была составлена и представлена Американскому геофизическому союзу (AGU) в конце 1999 г. [16]. Первая версия включала ЦМР дна СЛО в полярной стереографической проекции с размерностью грида  $2,5 \times 2,5$  км [16], [17]. ЦМР дна была составлена на основе цифровой

базы данных, которая аккумулировала в себе все доступные на тот момент данные о батиметрии СЛО в виде отметок глубин и их координат. Эти данные включали не только промер, выполненный в предшествующие годы с использованием средств и методов, которые значительно различались по точности, но и новейшие данные, полученные в последнее десятилетие с использованием спутниковых средств позиционирования и результатов съемки рельефа с помощью МЛЭ.

В районах, где отсутствовали реальные измерения глубин, были использованы данные с имеющихся навигационных карт путем оцифровки изобат и отличительных глубин. В базу данных были включены ставшие доступными для международной научной общественности данные промера с АПЛ по проекту SCICEX [18], а также использованы результаты съемок с МЛЭ в транс-арктической экспедиции «HOTRAX 2005» (Healy-Oden Trans-Arctic Expedition) в приполюсной части хребта Ломоносова [19]. Всего в первой версии ИВСаО было использовано 1 643 477 отметок глубин и 1 948 749 глубин путем оцифровки изобат [16]. Новейшие батиметрические данные охватывали главным образом центральный район СЛО. Несмотря на большой охват в базе данных, существовали акватории, в которых ЦМР была построена на основе оцифровки изобат с морских навигационных карт и мелкомасштабных батиметрических карт. К таким районам относилось также большинство районов российского сектора Арктики. В частности, была использована батиметрическая карта СЛО масштаба 1:5 000 000 на бумажной основе, изданная ГУНиО МО РФ [11]. Источники информации и анализ первой версии батиметрической карты ИВСаО детально рассмотрены в работе [16]. Описание батиметрии и морфологии дна СЛО, в соответствии с первой версией модели ИВСаО, представлено в работе [20].

#### **Батиметрическая съемка СЛО с ледокола береговой охраны США «Healy»**

Работы в американской зоне СЛО с 2003 г. были направлены на решение задач обоснования внешней границы США в СЛО [21]. Кроме работ на хребте Гаккеля в 2001 г., ледокол береговой охраны «Healy» выполнял многолучевую съемку рельефа в Центральном Арктическом бассейне, включая котловину Амундсена и приполюсный район хребта Ломоносова (2005 г.) [19], а также в Канадской котловине и на Чукотском плато. Экспедиционные рейсы состоялись в 2003, 2004 и 2007 гг. [22] – [24]. В дальнейшем работы «Healy» в американской зоне СЛО были продолжены в 2008, 2009 и 2011 гг. [25] – [27].

Существенное улучшение морфологии дна СЛО получено на континентальном склоне к северу от Аляски. Площадная съемка рельефа многолучевым эхолотом была выполнена в этом районе в период 2003 – 2007 гг. и в 2011 г. с ледокола береговой охраны США «Healy» [22] – [27]. Все батиметрические материалы выложены в свободном доступе в сети Интернет, что обеспечивает возможность использования современных геоинформационных технологий трехмерной визуализации для просмотра и анализа рельефа. Морфология участка континентального склона Аляски в море Бофорта показана на трехмерном изображении, приведенном на рис. 2.

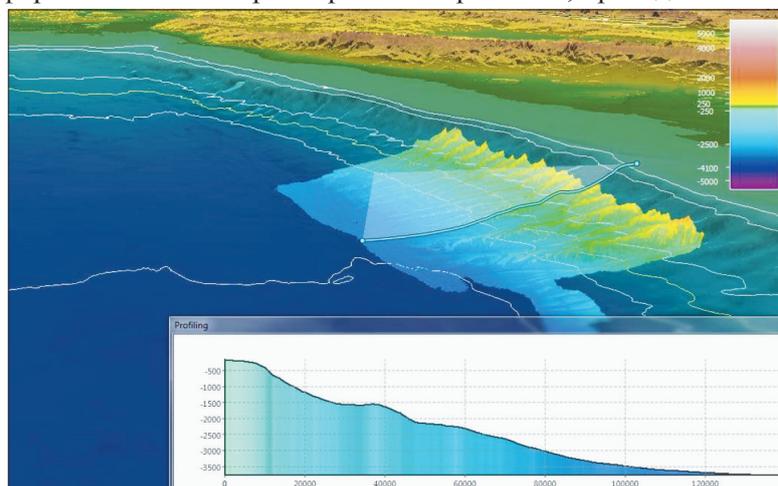


Рис. 2. Трехмерная ЦМР участка континентального склона Аляски и батиметрический профиль

Склон хребта Нортвинд и Чукотского плато также были покрыты площадной батиметрической съемкой МЛЭ, выполненной ледоколом береговой охраны «Healy» в период 2003 – 2009 гг. Трехмерное изображение ЦМР дна склона хребта Нортвинд приведено на рис. 3. Результаты многолучевой съемки показали, что склон хребта Нортвинд в направлении Канадской абиссальной равнины чрезвычайно крутой; несколько секций его имеют наклон более 10 и диапазон изменения глубин, равный 3000 м. В ходе этих рейсов были открыты неизвестные ранее в США формы рельефа [22], [27]. В частности, во время проведения рейса 2003 г. [22] была обнаружена подводная гора, получившая название *Healy*. Отметим, что данная форма рельефа показана на российской батиметрической карте, изданной в 2001 г. [12], [13]. Начиная с 2007 г. Канада приступила к работам по обоснованию границ расширенного континентального шельфа в Арктике [28]. Работы в канадской зоне СЛО — Канадской котловине — на начальном этапе (2008 – 2011 г.) выполнялись совместно с США на основе использования двухсудового варианта: канадский ледокол «Louis S. Saint Laurent» и американский ледокол «Healy» [29].

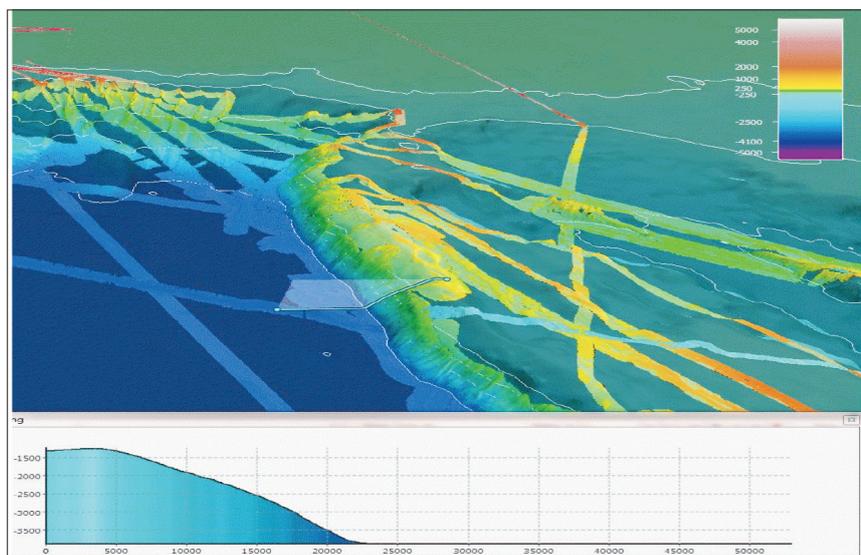


Рис. 3. Трехмерная цифровая модель рельефа участка континентального склона на хребте Нортвинд и батиметрический профиль

Начиная с 2007 г. площадная батиметрическая съемка в центральной части СЛО на хребте Ломоносова осуществлялась датско-шведско-канадской экспедицией по проекту «Lomonosov Ridge of Greenland» на шведском исследовательском ледоколе «Oden», оборудованном многолучевым эхолотом EM-122. Работы проводились в соответствии с программой обоснования расширенного континентального шельфа Гренландии и Королевства Дания в арктическом районе к северу от Гренландии [30]. Были выполнены три экспедиции: LOMROG-2007 [31], LOMROG-2009 [32], и LOMROG-2012 [33]. Съемка с помощью МЛЭ выполнялась на обоих склонах хребта Ломоносова. В процессе работ, по данным многолучевой батиметрии, оперативно создавался грид с размерностью 100 × 100 м. Всего было выполнено более 18800 лин. км многолучевой съемки в основном в односудовом варианте. Более подробный анализ батиметрических съемок, выполненных в СЛО с использованием МЛЭ с 2001 по 2009 гг., содержится в работе [34].

В 2008 – 2011 гг. работы проводились в двухсудовом варианте: исследовательский ледокол «Healy» совместно с канадским исследовательским ледоколом «Louis S. St-Laurent», оборудованным аппаратурой для выполнения многоканальной сейсмической съемки. Общая длина галсов многолучевой съемки равна 33 885 пог. км, площадь съемки — 200000 км<sup>2</sup>. Всего за период 2003 – 2011 гг. съемка рельефа продолжалась 191 день, общая длина галсов составила более 50780 пог. км, а общая площадь, покрытая многолучевой съемкой, — около 320 000 км<sup>2</sup> [35].

Батиметрические данные, полученные ледоколами «Healy» (2003 – 2011 гг.) и «Oden» (2007, 2009 гг.) и другими научно-исследовательскими судами в период 2001 – 2008 гг., были использованы в новой (2008 г.), второй, версии батиметрической карты ИВСаО [36]. Эти современные данные покрыли приблизительно 6 % площади новой батиметрической карты. Карта ИВСаО-2, доступная для бесплатного использования в цифровой форме с гридом  $2 \times 2$  км [37], составлена в полярной стереографической проекции с главной параллелью  $75^\circ$  на эллипсоиде WGS-84, глубины отнесены к среднему уровню моря. Основой для составления ИВСаО версии 2 послужили исследования, перечень которых представлен в работе [36]. В 2005 г. электронная (растровая) версия карты «Центральный арктический бассейн» 1:2 500 000 была передана в редколлегию Международной батиметрической карты (ИВСаО) [9].

### **Отечественные батиметрические исследования СЛЮ в интересах обоснования внешней границы континентального шельфа в Арктике**

Для России проблема обоснования расширенного континентального шельфа в Арктике, в соответствии с положениями ст. 76 Конвенции по морскому праву, чрезвычайно актуальна. Первое российское представление на расширенный континентальный шельф в Арктике (2001 г.) было отклонено ввиду отсутствия первичных материалов батиметрической съемки. Имеющаяся в Российской Федерации батиметрическая база данных, основанная на материалах, полученных в 60- – 90-е гг. XX в., по точности и полноте не отвечает требованиям Научно-технического руководства Комиссии ООН по границам континентального шельфа [38]. В конце 2009 г. правительством РФ было принято решение о проведении экспедиционных работ в СЛЮ в 2010 г. с целью выполнения современной батиметрической съемки в соответствии с требованиями научно-технической революции и Стандарта Международной гидрографической организации (далее — Стандарт МГО) [39] с использованием современных технологий.

Наряду с аппаратурными средствами в современной гидрографии огромную роль играют гидрографические информационные технологии, которые обеспечивают возможность эффективного применения новейших технических средств: МЛЭ, фазовой спутниковой навигационной аппаратуры и датчиков пространственной ориентации, а также гарантируют качество на всех этапах съемки, начиная с подготовки проекта и заканчивая постобработкой результатов батиметрической съемки и представления ее конечных результатов. Анализ технологий для обеспечения батиметрических исследований СЛЮ, учитывающий зарубежный опыт, выполнен в работах [34], [40].

Набор технологий, необходимых для съемки рельефа дна с использованием МЛЭ EM 122, включает следующие пакеты программ:

- управление съемкой в реальном времени;
- постобработка данных многолучевой съемки и построение цифровой модели рельефа;
- представление цифровых моделей рельефа на основе трехмерной визуализации;
- анализ батиметрических профилей, полученных с использованием ЦМР формирования точек подножия континентального склона и формульных линий.

На этапе подготовки к экспедиции были разработаны технологические схемы постобработки данных съемки рельефа, используемые в компьютерных информационных технологиях [41]. Эти схемы предполагают преобразование информации, получаемой в процессе съемки с учетом априорных погрешностей измерений в ЦРМ, глубины в которой оцениваются апостериорными погрешностями, получаемыми на основе строгих методов статистической обработки. При этом обеспечивается контроль качества результатов. Качество результатов площадной батиметрической съемки 2010 г. обсуждается в работах [42] и др. Выполненная батиметрическая съемка полностью отвечает требованиям Стандарта МГО. Представление результатов батиметрической съемки производилось в среде трехмерной графики пакета Fledermause. По результатам работ, выполненных в период проведения рейса 2010 г. в проекте ГИС «GeoCAP», была сформирована формульная линия Хедберга и ограничительная линия «изобата 2500 м + 100 миль». Полученные результаты

представлены в работе [43] и на сайте <http://geosiberia-2011.ssga.ru>. Результаты российской батиметрической съемки СЛО в 2010 г. были опубликованы за рубежом [44].

В 2011 и 2014 гг. российские исследования СЛО для внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) были связаны с выполнением сейсмических работ и проведением одновременной батиметрической съемки. Всего в 2010, 2011 и 2014 гг. было выполнено более 35 000 лин. км многолучевой батиметрической съемки.

В августе 2015 г. Российской Федерацией было представлено в Комиссию частично пересмотренное представление на расширенный континентальный шельф в СЛО [45].

### **Международная батиметрическая карта Северного Ледовитого океана версии 3**

Все американские и датские батиметрические материалы, полученные в период 2007 – 2011 гг., были переданы в редколлегию ИВСаО. Новая версия ИВСаО 3.0, появившаяся в 2013 г. [46], [47], является более совершенной по сравнению с версией 2008 г. В ней используются новые данные, собранные приарктическими государствами, включая данные исследовательских судов различных государств. При этом использование улучшенного алгоритма построения регулярной сетки позволило создать ЦМР с размером регулярной сетки 500 м. Источники данных ИВСаО версии 3 представлены в работе [46]. В то время как основная регулярная сетка глубин все еще собрана с шагом  $2 \times 2$  км, данные с более высоким разрешением (прежде всего многолучевые) с шагом  $500 \times 500$  м были слиты с основной сеткой с применением метода «remove-restore». Этот подход в итоге даёт сетку с шагом  $500 \times 500$  м, что позволяет намного лучше сохранить детали в тех областях, где исходные данные более плотные, чем в предыдущих версиях ИВСаО. В версии ИВСаО 3.0 процент покрытия данными от съёмки с МЛЭ увеличился (в версии ИВСаО 2.0) с 6 % до 11 %. Гриды ИВСаО версий 2.0 и 3.0 размещены на сайте <http://ibcao.org/> и в источнике [47]. Российские батиметрические данные 2010 – 2014 гг. официально не были представлены для использования в модели ИВСаО версий 3.0. Однако полученные ЦМР дна хорошо совмещаются с гридом ИВСаО версии 3.

В 2012 г. батиметрическая съемка в американской зоне СЛО была продолжена в односудовом варианте. При этом длина галсов составила более 10030 пог. км, а площадь покрытая многолучевой съемкой — 68600 м<sup>2</sup>. Таким образом, общее время батиметрической съемки составило 275 дней, длина галсов — 57248 км, а покрытие было доведено почти до 388 000 км<sup>2</sup> [64]. Данные, полученные в 2012 г. не включены в третью версию модели ИВСаО.

В 2013 – 2014 гг. исследовательский ледокол «Healy» выполнял только океанографические работы в прибрежных районах Аляски (море Бофорта и Берингово море), но в 2015 – 2016 гг. его работы по обоснованию ВГКШ в СЛО были продолжены. Часть батиметрических материалов 2015 г. Недавно были выложены в Интернет. В период с 18 по 28 сентября 2016 г. была выполнена дополнительная многолучевая съемка на площади 14 000 км<sup>2</sup> в Чукотском море и море Бофорта.

### **Источники новых качественных батиметрических данных по Северному Ледовитому океану**

*Наиболее полные сведения по батиметрической съемке, выполненной в Арктике в интересах ВГКШ.* Эти сведения предоставляет Объединенный гидрографический центр Университета Нью-Хемпшира (США). На интернет-сайте центра [48] помещены отчеты по рейсам ледокола береговой охраны США «Healy», а также гриды батиметрической съемки в трех различных ГИС-форматах. В результате этих работ в Объединенном гидрографическом центре Университета в Нью-Хемпшире подготовлена батиметрическая база данных, позволившая создать цифровую модель рельефа дна американского сектора в виде регулярной сетки с размерностью ячейки  $40 \times 40$  м. Эта ЦМР получила название «USAMBC» v.1.0 и доступна на сайте Университета Нью-Хемпшира — рис. 4 [48]. Как видно из этой карты, в американской зоне СЛО в отдельных районах имеется практически сплошное покрытие. К таким районам относятся: континентальный склон

Аляски и прилегающая часть Канадской котловины; абиссальная часть равнины Менделеева, расположенная непосредственно к северу от Чукотского плато; южная часть уступа Нордвинд; уступ Нордвинд и прилегающая часть Канадской котловины; южная часть хребта Альфа (район гор Рябова). Указанные районы являются наиболее изученными в СЛО.

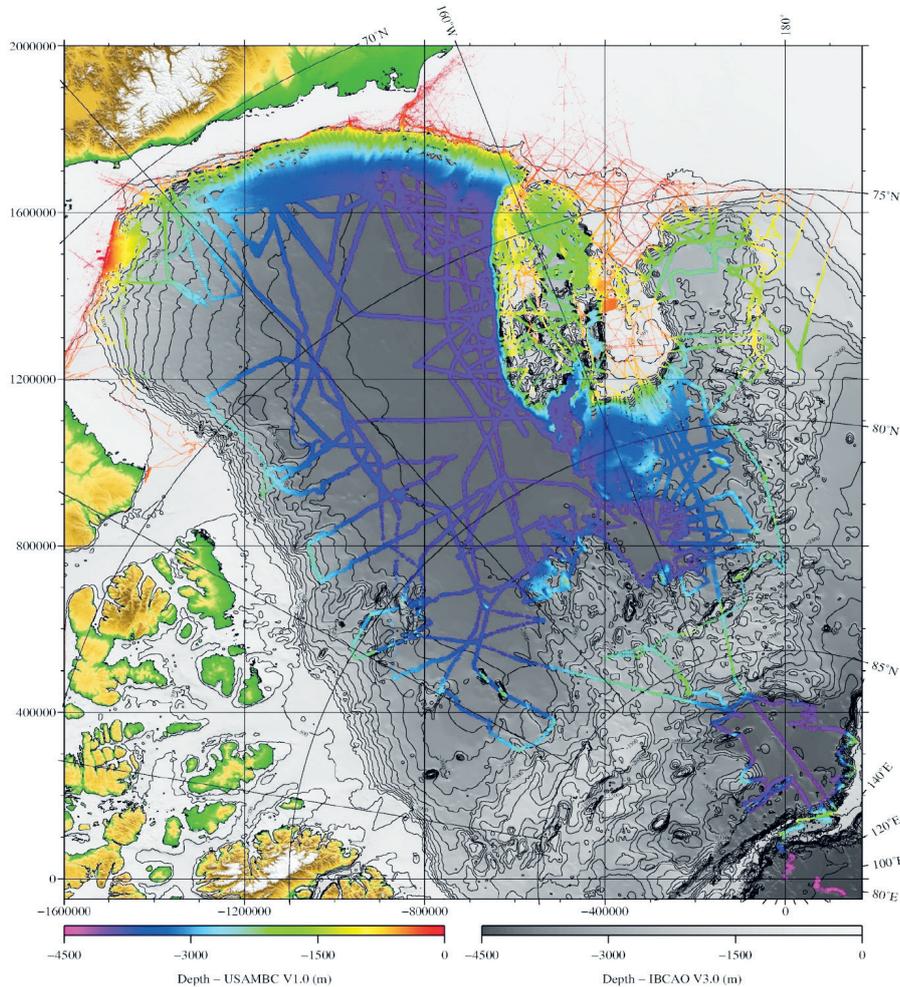


Рис. 4. Карта-схема рейсов американского ледокола «Healy» в период 2003 – 2012 гг.

Батиметрия по программе научных исследований «SCICEX» (1993 – 1999 гг. и 2001 – 2014 гг.). По данным зарубежных источников, точность позиционирования АПЛ в период рейсов по программе научных исследований «SCICEX» выполнялась с использованием штатного навигационного комплекса, системы курсоуказания и инерциальной навигационной системы. Точность позиционирования переменная и изменяется в пределах 200 – 2000 м (68 %) [18]. Точность определения глубины не хуже 1 %. Результаты батиметрической съемки по программе «SCICEX» с позиций требований Научно-технического руководства комиссии [38] не полностью соответствуют требованиям точности, заданным в Стандарте S-44 (редакции 4 и 5) МГО, по критерию допустимой точности положения глубин на дне [39]. Отметим, что в Представлении Королевства Дания на ВГКШ к северу от Гренландии [49] были использованы также результаты батиметрической съемки по программе «SCICEX». В частности, отдельные галсы были использованы для построения и анализа батиметрических профилей с целью определения подножия континентального склона (ПКС) на западном и восточном склоне хребта Ломоносова в российском секторе Арктики.

Батиметрические данные по программе научных исследований «SCICEX» (1993 – 1999 гг.) были включены в первую редакцию IBCAO v.1 (2001 г.) и уточнялись при подготовке второй редакции (2008 г.). Затем они были частично заменены новой современной информацией при издании

третьей версии IVСАО (2013 г.). Программа научных исследований «SCICEX» была продолжена в 2001 – 2014 гг. [50]. Однако полученная в Канадской котловине батиметрическая информация мало пригодна для решения задач обоснования ВГКШ.

В связи с появлением новых батиметрических данных, выполненных американским и канадским ледоколами «Nealy» и «Louis S. St-Laurent» в Канадской котловине, Чукотском плато и поднятии Нордвинд, ценность батиметрии АПЛ по программе «SCICEX» в этих районах практически утратила свое значение. Батиметрические данные по этой программе доступны на сайтах NOAA и SCICEX в текстовом формате [50].

### **Новые батиметрические съемки, выполненные канадскими учеными в 2014 – 2016 гг.**

Следует отметить, что представляют интерес сведения о батиметрической съемке, недавно выполненной канадскими учеными для обоснования своего расширенного континентального шельфа в СЛЮ. До 2012 г. Канада выполняла главным образом сейсмическую съемку в Канадской котловине, используя ледокол береговой охраны CCGS «Louis S. St-Laurent» в двухсудовом варианте с американским ледоколом «Nealy». В 2012 г. США завершили свою программу работ в Центральном Арктическом бассейне. В декабре 2013 г. в Канаде было подготовлено и передано правительству представление на расширенный континентальный шельф в Арктике. Однако, по сообщениям канадской печати, премьер-министр Канады вернул представление на доработку, поставив ученым задачу включить в расширенный континентальный шельф Канады Северный полюс. Для решения этой задачи было решено выполнить дополнительные обширные батиметрические съемки и в 2014 г. Правительство Канады выделило 6,5 млн долл. для переоборудования ледокола «Louis S. St-Laurent» с целью установки на нем МЛЭ.

В 2014 – 2016 гг. были выполнены три батиметрических рейса в центральную часть СЛЮ в районы хребта Ломоносова, котловины Амундсена и Макарова, поднятий Менделеева-Альфа, а также примыкающих к ним частей Канадской котловины. В 2014 – 2015 гг. работы выполнялись в двухсудовом варианте с канадским ледоколом «Terry Fox», при этом было выполнено в общей сложности 19 550 лин. км многолучевой съемки. В 2016 г. состоялся последний 47-суточный рейс в двухсудовом варианте совместно со шведским ИЛ «Oden». При этом было выполнено 10 500 лин. км многолучевой съемки рельефа дна. Информация является конфиденциальной, она недоступна для использования, поскольку будет являться частью Представления по обоснованию ВГКШ в СЛЮ, которое Канада собирается представить в Комиссию ООН в 2018 г. Правительство Канады возлагает большие надежды на результаты многолучевой съемки, полагая при этом, что обширная батиметрическая информация в приполюсном районе СЛЮ даст основание Канаде претендовать на включение этого района в свой расширенный континентальный шельф.

По сравнению с батиметрическими данными, которыми располагают США и Канада для обоснования своего расширенного континентального шельфа в СЛЮ, Россия имеет несколько меньшую базу данных съемок с МЛЭ. Однако эта база данных является достаточной для обоснования формульных и ограничительных линий частично пересмотренного представления [45] в соответствии с требованиями Комиссии [38]. Тем не менее в целях геоморфологического анализа рельефа требуется уточненная база батиметрических данных по всей российской зоне СЛЮ. Кроме того, Россия располагает ретроспективной цифровой батиметрической базой данных, использованной при подготовке издания карты «Центральный Арктический Бассейн» (адмиралтейский номер 91115) [12], которая может быть актуализирована на основе сравнения с новыми «реперными» данными ЦМР по полосам обзора МЛЭ, а также дополнена современными отечественными и зарубежными данными.

В настоящее время выполняются анализ и подготовка новой Российской цифровой батиметрической базы данных и подготовка карты «Центральный Арктический бассейн» (адм. номер 91115) в цифровом виде. Вместе с тем необходимо проведение дополнительных батиметрических работ в СЛЮ. В первую очередь важно выполнить систематическое изучение рельефа дна с ис-

пользованием МЛЭ в зонах сопряжения провинции хребтов и поднятий Амеразийского бассейна с Евразией для подкрепления доказательств естественного продолжения континентальной окраины на хребет Ломоносова и поднятие Менделеева. Цифровая батиметрическая модель СЛО на основе ЦМР должна быть использована также для создания нового поколения электронных навигационных карт, которые необходимы не только для надводного мореплавания, но и для решения специальных задач в Арктике.

### Выводы

1. Начало XXI в. является качественно новым этапом исследований СЛО, обусловленным возможностью применения многолучевых эхолотов и информационных технологий.

2. Задачи по определению внешней границы континентального шельфа арктических государств, в соответствии с требованиями Конвенцией по морскому праву, явились мощным стимулом развития съемок рельефа дна в Центральном Арктическом бассейне. Использование новых гидрографических и информационных технологий позволяют с высокой достоверностью и точностью использовать результаты современных батиметрических съемок для обоснования расширенного континентального шельфа в Арктике.

3. Мировое научное сообщество, создавшее первую версию цифровой батиметрической карты СЛО (IBSAO v.1) в 2001 г., постоянно улучшает ее на основе новых современных съемок с многолучевыми эхолотами.

4. Новые батиметрические съемки в Центральном Арктическом бассейне, выполненные в 2000 – 2014 гг., пока не выявили новых неизвестных ранее крупных форм рельефа дна в СЛО.

5. Выполненная в России батиметрическая съемка в интересах обоснования расширенного континентального шельфа в Арктике обеспечивает надежное формирование формульной линии Хедберга и ограничительной линии изобата 2500 м + 100 морских миль. На основе выполненных съемок рельефа дна подготовлено и представлено в Комиссию ООН по границам континентального шельфа частично пересмотренное представление Российской Федерации.

6. В связи с работами, выполненными учеными США и Канады в период 2003 – 2016 г., рельеф Амеразийского бассейна к настоящему времени в Центральном Арктическом бассейне можно считать наиболее изученным. Батиметрические материалы США, полученные в Амеразийском бассейне, находятся в свободном доступе в сети Интернет.

7. России следует продолжить выполнение детальных батиметрических съемок в Евразийском и Амеразийском бассейнах и в первую очередь в зонах сопряжения провинции хребтов и поднятий Амеразийского бассейна с Евразией.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаккель Я. Я. Морфоструктура и донные осадки Арктического бассейна / Я. Я. Гаккель, Н. А. Белов, В. Д. Дибнер, Н. Н. Лапина // Труды Арктического и антарктического научно-исследовательского института. — 1968. — Т. 285. — С. 15–27.

2. Киселев Ю. Г. Структура дна и эволюция геологического строения глубоководной части Северного Ледовитого океана / Ю. Г. Киселев // Геофизические методы исследования Мирового океана. — Л.: НИИ геологии Арктики, 1979. — С. 5–13.

3. *Ostenso N. A.* Geophysical investigations of the Arctic Ocean basin / N. A. Ostenso. — Univ. Wisc. Geophys. and Polar Research Center, Research Report, 1962. — № 4. — 124 p.

4. *Weber J. R.* CESAR 83: Alpha Ridge probe will increase understanding of Arctic / J. R. Weber. — Resource Development, Winter 1982/83. — Pp. 10–12.

5. *Weber J. R.* Reinterpretation of morphology and crustal structure in the Central Arctic Ocean Basin / J. R. Weber, J. F. Sweeney // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. — 1985. — Vol. 90. — Is. B1. — С. 663–677. DOI: 10.1029/JB090iB01p00663.

6. *Heezen B. C.* Arctic Ocean Floor / B. C. Heezen // Supplement to National Geographic magazine. — 1971. — Vol. 140. — No. 4.

7. *Heezen B. C.* Map of the Arctic Region / B. C. Heezen, M. Tharp, M. Pinther. — 1975. — World 1:5 000 000.
8. *Sweeney J. F.* Continental ridges in the Arctic Ocean: LOREX constraints / J. F. Sweeney, J. R. Weber, S. M. Blasco // *Tectonophysics*. — 1982. — Vol. 89. — Is. 1–3. — С. 217–237. DOI:10.1016/0040-1951(82)90039-7.
9. *Фридман Б. С.* Результаты гидрографических исследований и картографирование рельефа дна Арктического бассейна для определения внешней границы континентального шельфа России в Арктике / Б. С. Фридман. — СПб.: Наука, 2007. — 208 с.
10. Основы изображения подводного рельефа на морских картах. — Л.: Изд-во ГУНиО МО, 1973. — 162 с.
11. Рельеф дна Северного Ледовитого океана. Масштаб 1:5 000 000, проекция стереографическая. — СПб.: ГУНиО МО, ВНИИОкеангеология, РАН, 1998.
12. Центральный Арктический бассейн. Масштаб 1:2 500 000, по параллели 75°. Проекция стереографическая. — СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. — № 91115.
13. *Алексеев А. С.* Обновленная карта Северного Ледовитого океана / А. С. Алексеев, А. Ф. Зеньков, А. М. Шарков, В. И. Коваленок // *Российские полярные исследования*. — 2013. — № 1 (11). — С. 44–46.
14. GEBCO Undersea Features Names Gazetteer. Arctic [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ngdc.noaa.gov/gazetteer/> (дата обращения — 02.11.2016).
15. *Baker E. T.* Hydrothermal venting in magma deserts: The ultraslow spreading Gakkel and Southwest Indian Ridges / E. T. Baker, H. N. Edmonds, P. J. Michael, W. Bach, H. J. B. Dick, J. E. Snow, S. L. Walker, N. R. Banerjee, C. H. Langmuir // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. — 2004. — Vol. 5. — Is. 8. DOI:10.1029/2004GC000712.
16. *Jakobsson M.* New grid of Arctic bathymetry aids scientists and mapmakers / M. Jakobsson, N. Cherkis, J. Woodward, R. Macnab, B. Coakley // *EOS, Transactions American Geophysical Union*. — 2000. — Vol. 81. — Is. 9. — Pp. 89–96. DOI: 10.1029/00EO00059.
17. *Jakobsson M.* International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO). Beta Version. Technical Reference and User's Guide / M. Jakobsson, R. Macnab, Members of the Editorial Board. — 2001. — 14 p.
18. *Edwards M. H.* SCICEX investigations of the Arctic Ocean system / M. H. Edwards, B. J. Coakley // *Chemie der Erde-Geochemistry*. — 2003. — Vol. 63. — Is. 4. — Pp. 281–328. DOI:10.1078/0009-2819-00039.
19. *Björk G.* Bathymetry and deep-water exchange across the central Lomonosov Ridge at 88–89°N / G. Björk, M. Jakobsson, B. Rudels, J. H. Swift, L. Anderson, D. A. Darby, J. Backman, B. Coakley, P. Winsor, L. Polyak, M. Edwards // *Deep-Sea Research. Part I*. — 2007. — Is. 54. — Pp. 1197–1208. DOI: 10.1016/j.dsr.2007.05.010.
20. *Jakobsson M.* Physiographic provinces of the Arctic Ocean seafloor / M. Jakobsson, A. Grantz, Y. Kristoffersen, R. Macnab // *Geological Society of America Bulletin*. — 2003. — V. 115. — No. 12. — Pp. 1443–1455. DOI: 10.1130/B25216.1.
21. U.S. Extended Continental Shelf Project [Электронный ресурс]: офиц. сайт. — Режим доступа: <http://continentalshef.gov/> (дата обращения — 05.10.2016).
22. *Mayer L. A.* U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin, Barrow to Barrow. Cruise Report / L. A. Mayer. — University of New Hampshire (UNH), 2003. — 19 p.
23. *Mayer L. A.* U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin. Cruise Report for 2004 / L. A. Mayer. — University of New Hampshire (UNH), 2004. — 47 p.
24. *Mayer L. A.* U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin. Cruise Report for 2007 / L. A. Mayer, A. A. Armstrong. — University of New Hampshire (UNH), 2007. — 182 p.
25. *Mayer L. A.* U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin. Cruise Report for 2008 / L. A. Mayer, A. A. Armstrong. — University of New Hampshire (UNH), 2008. — 179 p.
26. *Mayer L. A.* U.S. Law of the Sea cruise to map the foot of the slope and 2500-m isobath of the US Arctic Ocean margin, cruise report for 2009 / L. A. Mayer, A. A. Armstrong. — Center for Coastal and Ocean Mapping (CCOM)/Joint Hydrographic Center (JHC), 2009. — 118 p.
27. *Mayer L. A.* U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin / L. A. Mayer, A. A. Armstrong. — Center for Coastal and Ocean Mapping (CCOM)/Joint Hydrographic Center (JHC), 2011. — 235 p.
28. Canada's Extended Continental Shelf [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.international.gc.ca/arctic-arctique/continental/index.aspx?lang=eng&\\_ga=1.14551287.1900142442.1477068766](http://www.international.gc.ca/arctic-arctique/continental/index.aspx?lang=eng&_ga=1.14551287.1900142442.1477068766) (дата обращения — 05.10.2016).

29. *Mosher D. C.* Canadian UNCLOS Extended Continental Shelf Program seismic data holdings (2006–2011) // D. C. Mosher, J. W. Shimeld, D. R. Hutchinson, H. R. Jackson // Geological Survey of Canada. — Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada, 2016. — 8 p. DOI: 10.4095/297590.
30. The Continental Shelf Project [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://a76.dk/lng\\_uk/main.html](http://a76.dk/lng_uk/main.html) (дата обращения — 05.10.2016).
31. *Jakobsson M.* Lomonosov Ridge off Greenland 2007 (LOMROG), Cruise Report / M. Jakobsson, C. Marcussen, LOMROG Scientific Party. — 2007. — 124 p.
32. *Marcussen C.* Lomonosov Ridge off Greenland 2009 (LOMROG II) – Cruise Report / C. Marcussen, the LOMROG II Scientific Party. — Geological survey of Denmark and Greenland, Ministry of climate and energy, 2009. — 154 p.
33. *Marcussen C.* Lomonosov Ridge off Greenland 2012 (LOMROG III) – Cruise Report / C. Marcussen, the LOMROG III Scientific Party. — Geological survey of Denmark and Greenland, Ministry of climate, energy and building, 2012. — 220 p.
34. *Фирсов Ю. Г.* Анализ зарубежного опыта и перспективы российских исследований Северного Ледовитого океана в интересах определения внешней границы континентального шельфа / Ю. Г. Фирсов, В. Н. Баландин, И. В. Меньшиков // Геодезия и картография. — 2010. — № 9. — С. 54–59.
35. *Mayer L. A.* U.S. Law of the Sea cruise to map and sample the US Arctic Ocean margin / L. A. Mayer, A. Armstrong. — Center for Coastal and Ocean Mapping, 2012. — 159 p.
36. *Jakobsson M.* An improved bathymetric portrayal of the Arctic Ocean: Implications for ocean modeling and geological, geophysical and oceanographic analyses / M. Jakobsson, R. McNab, L. Mayer, R. Anderson, M. Edwards, J. Hatzky, H-W. Schenke, P. Johnson // Geophysical Research Letters. — 2008. — Vol. 35. — Is. 7. DOI: 10.1029/2008GL033520.
37. International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ibcao.org/> (дата обращения — 10.10.2016).
38. Научно-техническое Руководство Комиссии по границам континентального шельфа. Пятая сессия. — Нью-Йорк, 3 – 14 мая 1999 г. — 90 с.
39. IHO Standards for Hydrographic Survey. — 5th Edition. — Special Publication № 44. — Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008. — 28 p.
40. *Фирсов Ю. Г.* Анализ технологий для обеспечения батиметрических исследований Северного Ледовитого океана в интересах определения внешней границы континентального шельфа и опыт их применения / Ю. Г. Фирсов, В. Н. Баландин, И. В. Меньшиков, Н. Г. Мустафин // Геодезия и картография. — 2010. — № 5. — С. 49–55.
41. *Фирсов Ю. Г.* Анализ методики проектирования и выполнения батиметрической съемки Северного Ледовитого океана с использованием современных технологий / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 2. — С. 50–54.
42. *Фирсов Ю. Г.* Методика и контроль качества батиметрической съемки в высокоширотных зонах Арктики, значимых для определения внешней границы континентального шельфа России / Ю. Г. Фирсов, В. Д. Каминский, В. А. Поселов // VII Российская науч.-техн. конф. «Навигация, гидрография и океанография: приоритеты развития и инновации морской деятельности» (НГО-2011): тр. конф. — СПб.: ГНИНГИ, 2011. — С. 325–330.
43. *Фирсов Ю. Г.* Цифровые модели рельефа дна и анализ батиметрических профилей для формирования внешней границы континентального шельфа России в Арктике / Ю. Г. Фирсов // Сборник материалов VI Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2011». — Новосибирск: СГГА, 2011. — С. 153–162.
44. *Glumov I. F.* Challenge in the Arctic / I. Glumov, A. Zenkov, D. Zhilin // Hydro International. — 2012. — January / February.
45. Частичное пересмотренное представление Российской Федерации в Комиссию по границам континентального шельфа в отношении континентального шельфа в Северном Ледовитом океане. Резюме. — 2015. — 37 с.
46. *Jakobsson M.* The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0 / M. Jakobsson, L. Mayer, B. Coakley, J. A. Dowdeswell, S. Forbes, B. Fridman, H. Hodnesdal, R. Noormets, R. Pedersen, M. Rebesco, H. W. Schenke, Y. Zarayskaya, D. Accettella, A. Armstrong, R. M. Anderson, P. Bienhoff, A. Camerlenghi, I. Church, M. Edwards, J. V. Gardner, J. K. Hall, B. Hell, O. Hestvik, Y. Kristoffersen, C. Marcussen, R. Mohammad, D. Mosher, S. V. Nghiem, M. T. Pedrosa, P. G. Travaglini, P. Weatherall // Geophysical Research Letters. — 2012. — Vol. 39. — Is. 12. DOI: 10.1029/2012GL052219.

47. IBCAO Version 3.0 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/ibcaoversion3.html> (дата обращения — 15.10.2016).

48. Center for Coastal and Ocean Mapping. Joint Hydrographic Center). United States Arctic Multibeam Compilation (v1.0) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ccom.unh.edu/data/united-states-arctic-multibeam-compilation-v10> (дата обращения — 15.10.2016).

49. Partial Submission of the Government of the Kingdom of Denmark together with the Government of Greenland to the Commission on the Limits of the Continental Shelf. Th Nothern Continental Shelf of Greenland. Executive Summary. — Denmark: Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), 2014. — 52 p.

50. SCICEX Submarine Arctic program [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://nsidc.org/scicex/history.html#bathy> (дата обращения — 15.10.2016).

## MODERN BATHYMETRIC SURVEY IN THE ARCTIC OCEAN IN THE CONTEXT OF THE EXTENDED CONTINENTAL SHELF DETERMINATION IN ARCTIC

*The study examines a recent effort of the Arctic countries during the last 10-15 years into conducting the bathymetric survey in the Arctic Ocean using modern hydrographic technologies. The bottom relief of the central Arctic Basin became very important as a result of the Arctic countries race for the determination of their extended continental shelf boundaries. The precise bathymetric survey is important for the determination of the foot of continental slope position which is the basis for constructing the formula lines according to Article 76 UNCLOS. One of the constraint lines associated with the location of 2500 m isobaths also requires a detailed survey with the aid of new hydrographic technologies.*

*The study provides a short historical overview of the Arctic Ocean relief investigations. It highlights the Russian priority which is reflected by the bottom relief toponyms named after Russian explorers as well as compiled modern bathymetric charts.*

*The study also reviews bathymetric activities of Denmark, Canada, USA and Russia during the period of 2000 - 2016 which used the modern hydrographic equipment such as multi beam echo sounders, precise GNSS-positioning and GIS technologies. It is emphasised that these bathymetric surveys were especially aimed at solving the problem of the extended continental shelf determination of the Arctic countries.*

*The review of the International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) version is also presented along with the data used as the basis for its creation. The publicly available bathymetric data in the form of digital terrain models and spot soundings are presented.*

*In conclusion it is suggested that the Amerasian Basin has currently the most explored bottom relief in the Arctic Ocean.*

*The main results of undertaken bathymetric investigations and the seafloor quality achieved from deep water multi beam survey are provided.*

*Keywords: limits of the Continental Shelf, Article 76 United Nations Convention on the Law of the Sea, IBCAO, foot of slope, swath bathymetric survey, digital terrain models, bathymetric survey quality.*

## REFERENCES

1. Gakkel, Ya. Ya, N. A. Belov, V. D. Dibner, and N. N. Lapin. "Morfostruktura i Donnie osadki Arcticheskogo Basseina." *Trudy Arkticheskogo i antarkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta* 285 (1968): 15–27.
2. Kiselev, Ju. G. "Struktura dna i jevoljucija geologicheskogo stroenija glubokovodnoj chasti Severnogo Ledovitogo okeana." *Geofizicheskie metody issledovaniya Mirovogo okeana*. L.: NII geologii Arktiki, 1979: 5–13.
3. Ostenso, N. A. *Geophysical investigations of the Arctic Ocean basin*. Univ. Wisc. Geophys. and Polar Research Center, Research Report, 1962. № 4.
4. Weber, J. R. *CESAR 83: Alpha Ridge probe will increase understanding of Arctic*. Resource Development, Winter 1982/83, pp. 10–12.
5. Weber, J. R., and J. F. Sweeney. "Reinterpretation of morphology and crustal structure in the Central Arctic Ocean Basin." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 90.B1 (1985): 663–677. DOI: 10.1029/JB090iB01p00663.
6. Heezen, B. C. "Arctic Ocean Floor." *Supplement to National Geographic magazine* 140.4 (1971).
7. Heezen, B. C., M. Tharp, and M. Pinther. *Map of the Arctic Region*. 1975. World 1:5,000,000.

8. Sweeney, J. F., J. R. Weber, and S. M. Blasco. "Continental ridges in the Arctic Ocean: LOREX constraints." *Tectonophysics* 89. 1–3 (1982): 217–237. DOI:10.1016/0040-1951(82)90039-7.
9. Fridman, B. S. *Rezultaty gidrograficheskikh issledovanij i kartografirovanie relefa dna Arkticheskogo bassejna dlja opredelenija vneshnej granicy kontinentalnogo shelfa Rossii v Arktike*. SPb.: Nauka, 2007.
10. *Osnovy izobrazhenija podvodnogo relefa na morskikh kartah*. L.: Izd. GUNiO MO, 1973.
11. *Rel'ef dna Severnogo Ledovitogo okeana. Masshtab 1:5 000 000, proekcija stereograficheskaja*. SPb.: GUNiO MO, VNIIOkeangeologija, RAN, 1998.
12. *Centralnyj Arkticheskij bassejn. Masshtab 1:2 500 000, po paralleli 75°. Proekcija stereograficheskaja*. SPb.: GUNiO MO RF, 2002. № 91115.
13. Alekseev, A. S., A. F. Zenkov, A. M. Sharkov, and V. I. Kovalenok. "Obnovlennaja karta Severnogo Ledovitogo okeana." *Rossijskie poljarnye issledovanija* 1(11) (2013): 44–46.
14. GEBCO Undersea Features Names Gazetteer. Arctic. Web. 2 Nov. 2016 <<http://www.ngdc.noaa.gov/gazetteer/>>.
15. Baker, Edward T., Henrietta N. Edmonds, Peter J. Michael, Wolfgang Bach, Henry J. B. Dick, Jonathan E. Snow, Sharon L. Walker, Neil R. Banerjee, and Charles H. Langmuir. "Hydrothermal venting in magma deserts: The ultraslow spreading Gakkel and Southwest Indian Ridges." *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 5.8 (2004). DOI:10.1029/2004GC000712.
16. Jakobsson, Martin, Norman Cherkis, John Woodward, Ron Macnab, and Bernard Coakley. "New grid of Arctic bathymetry aids scientists and mapmakers." *EOS, Transactions American Geophysical Union* 81.9 (2000): 89–96. DOI: 10.1029/00EO00059.
17. Jakobsson, M., R. Macnab, and Members of the Editorial Board. *International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO). Beta Version. Technical Reference and User's Guide*. 2001.
18. Edwards, Margo H., and Bernard J. Coakley. "SCICEX investigations of the Arctic Ocean System." *Chemie der Erde-Geochemistry* 63.4 (2003): 281–328. DOI:10.1078/0009-2819-00039.
19. Björk, Göran, Martin Jakobsson, Bert Rudels, James H. Swift, Leif Anderson, Dennis A. Darby, Jan Backman, Bernard Coakley, Peter Winsor, Leonid Polyak, and Margo Edwards. "Bathymetry and deep-water exchange across the central Lomonosov Ridge at 88–89°N." *Deep-Sea Research. Part I* 54 (2007): 1197–1208. DOI: 10.1016/j.dsr.2007.05.010.
20. Jakobsson, M., A. Grantz, Y. Kristoffersen, and R. Macnab. "Physiographic provinces of the Arctic Ocean seafloor." *Geological Society of America Bulletin* 115.12 (2003): 1443–1455. DOI: 10.1130/B25216.1.
21. U. S. Extended Continental Shelf Project. Web. 5 Oct. 2016 <<http://continentalshelf.gov/>>.
22. Mayer, L. A. *U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin, Barrow to Barrow. Cruise Report*. University of New Hampshire (UNH), 2003.
23. Mayer, L. A. *U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin. Cruise Report for 2004*. University of New Hampshire (UNH), 2004.
24. Mayer, L. A., and A. A. Armstrong. *U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin. Cruise Report for 2007*. University of New Hampshire (UNH), 2007.
25. Mayer, L. A., and A. A. Armstrong. *U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin. Cruise Report for 2008*. University of New Hampshire (UNH), 2008.
26. Mayer, L. A., and A. A. Armstrong. *U.S. Law of the Sea cruise to map the foot of the slope and 2500-m isobath of the US Arctic Ocean margin, cruise report for 2009*. Center for Coastal and Ocean Mapping (CCOM)/Joint Hydrographic Center (JHC), 2009.
27. Mayer, L. A., and A. A. Armstrong. *U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin*. Center for Coastal and Ocean Mapping (CCOM)/Joint Hydrographic Center (JHC), 2011.
28. Canada's Extended Continental Shelf. Web. 5 Oct. 2016 <[http://www.international.gc.ca/arctic-arctique/continental/index.aspx?lang=eng&\\_ga=1.14551287.1900142442.1477068766](http://www.international.gc.ca/arctic-arctique/continental/index.aspx?lang=eng&_ga=1.14551287.1900142442.1477068766)>.
29. Mosher, D. C., J. W. Shimeld, D. R. Hutchinson, and H. R. Jackson. "Canadian UNCLOS Extended Continental Shelf Program seismic data holdings (2006–2011)." *Geological Survey of Canada*. Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada, 2016. 8 p. DOI:10.4095/297590.
30. The Continental Shelf Project. Web. 5 Oct. 2016 <[http://a76.dk/lng\\_uk/main.html](http://a76.dk/lng_uk/main.html)>.
31. Jakobsson, Martin, Christian Marcussen, and LOMROG Scientific Party. *Lomonosov Ridge off Greenland 2007 (LOMROG), Cruise Report*. 2007.
32. Marcussen, Christian, and the LOMROG II Scientific Party. *Lomonosov Ridge off Greenland 2009 (LOMROG II) – Cruise Report*. Geological survey of Denmark and Greenland, Ministry of climate and energy, 2009.

33. Marcussen, Christian, and the LOMROG III Scientific Party. *Lomonosov Ridge off Greenland 2012 (LOMROG III) — Cruise Report*. — Geological survey of Denmark and Greenland, Ministry of climate and energy, 2012.
34. Firsov, Yu. G., V. N. Balandin, and I. V. Menshikov. “Analysis of foreign experience and prospects for Russian studies of the Arctic Ocean aimed at identifying outer limits of continental shelf.” *Geodesy and Cartography* 9 (2010): 54–59.
35. Mayer, Larry A., and Andy Armstrong. *U.S. Law of the Sea cruise to map and sample the US Arctic Ocean margin*. Center for Coastal and Ocean Mapping, 2012.
36. Jakobsson, Martin, Ron Macnab, Larry Mayer, Robert Anderson, Margo Edwards, Jörn Hatzky, Hans Werner Schenke, and Paul Johnson. “An improved bathymetric portrayal of the Arctic Ocean: Implications for ocean modeling and geological, geophysical and oceanographic analyses.” *Geophysical Research Letters* 35.7 (2008). DOI: 10.1029/2008GL033520, 2008.
37. International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean. Web. 10 Oct. 2016 <<http://ibcao.org/>>.
38. *Nauchno-tehnicheskoe Rukovodstvo Komissii po granicam kontinentalnogo shelfa*. Pjataja sessija. Nju-Jork, 3-14 maja 1999 g.
39. *IHO Standards for Hydrographic Survey*. 5th Edition. Special Publication № 44. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008.
40. Firsov, Yu. G., V. N. Balandyn, I. V. Menshikov, and M. G. Mustafin. “Analiz tekhnologiy dlya obespecheniya batimetriceskikh issledovaniy Severnogo Ledovitogo okeana v interesakh opredeleniya vneshney granitsy kontinentalnogo shelfa i opyt ikh primeneniya.” *Geodesy and Cartography* 5 (2010): 49–55.
41. Firsov, Y. G. “Analysis of the methods of modeling and conducting the bathymetric survey in the Arctic ocean with usage of modern technologies.” *Jekspluatatsiya morskogo transporta* 2 (2010): 50–54.
42. Firsov, Yu. G., V. D. Kaminsky, and V. A. Poselov. “Metodika i control kachestva batimetriceskoi siomki v vysokoshirotnykh zonakh Arktiki, znachimykh dlya opredeleniya vneshney granitsy kontinentalnogo shelfa Rossii.” *Trudi VII Rossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii “Navigatsiya, gidrografiya i okeanografiya: priority razvitiya i innovatsii morskoy deyatel’nosti”*. SPb: GNINGI, 2011: 325–330.
43. Firsov, Yu. G. “Digital models of the ocean bottom relief and analysis of bathymetric profiles for Russian outer continental shelf boundary formation in Arctics.” *Sbornik materialov VI Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «GEO-Sibir'-2011»*. Novosibirsk: SGGA, 2011: 153–162.
44. Glumov, I. F., A. Zenkov, and D. Zhilin. “Challenge in the Arctic.” *Hydro International* January/February (2012).
45. *Chastichnoe peresmotrennoe predstavlenie Rossijskoj Federacii v Komissiju po granicam kontinentalnogo shelfa v otnoshenii kontinentalnogo shelfa v Severnom Ledovitom okeane. Rezjume*. 2015.
46. Jakobsson, M., L. Mayer, B. Coakley, J. A. Dowdeswell, S. Forbes, B. Fridman, H. Hodnesdal, R. Noormets, R. Pedersen, M. Rebecco, H. W. Schenke, Y. Zarayskaya, D. Accettella, A. Armstrong, R. M. Anderson, P. Bienhoff, A. Camerlenghi, I. Church, M. Edwards, J. V. Gardner, J. K. Hall, B. Hell, O. Hestvik, Y. Kristoffersen, C. Marcussen, R. Mohammad, D. Mosher, S. V. Nghiem, M. T. Pedrosa, P. G. Travaglini, and P. Weatherall. “The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0.” *Geophysical Research Letters* 39.12 (2012). DOI: 10.1029/2012GL052219
47. IBCAO Version 3.0. Web. 15 Oct. 2016 <<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/ibcaoversion3.html>>.
48. Center for Coastal and Ocean Mapping. Joint Hydrographic Center. United States Arctic Multibeam Compilation (v1.0). Web. 15 Oct. 2016 <<http://ccom.unh.edu/data/united-states-arctic-multibeam-compilation-v10>>.
49. *Partial Submission of the Government of the Kingdom of Denmark together with the Government of Greenland to the Commission on the Limits of the Continental Shelf. The Northern Continental Shelf of Greenland. Executive Summary*. Denmark: Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), 2014.
50. SCICEX Submarine Arctic program. Web. 15 Oct. 2016 <<https://nsidc.org/scicex/history.html#bathy>>.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Фирсов Юрий Георгиевич —  
 кандидат технических наук, доцент.  
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
 адмирала С. О. Макарова»  
[gidrograph@mail.ru](mailto:gidrograph@mail.ru), [kaf\\_gm@gumrf.ru](mailto:kaf_gm@gumrf.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Firsov Yury Georgievich —  
 Candidate of Engineering, associate professor.  
 Admiral Makarov State University for Maritime  
 and Inland Shipping  
[gidrograph@mail.ru](mailto:gidrograph@mail.ru), [kaf\\_gm@gumrf.ru](mailto:kaf_gm@gumrf.ru)