

Л.А. Мэйер*

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ РЕЛЬЕФА ДНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

Картографирование рельефа дна Северного Ледовитого океана имеет долгую историю, истоки которой восходят к началу XX в. За это время технологии подводного картографирования претерпели серьезные изменения: на смену лотлинию пришли сначала однолучевые, а затем многолучевые эхолоты, способные «сканировать» большие участки морского дна. В начале XXI в. произошел новый всплеск интереса к сбору батиметрических данных в Северном Ледовитом океане, вызванный двумя причинами: 1) пониманием того, что в условиях изменения климата на планете знания о батиметрии Арктики имеют большое значение для моделирования процессов циркуляции вод Мирового океана и глобального распределения тепла; 2) вступлением в силу Конвенции ООН по морскому праву, которая дает прибрежным государствам возможность существенно расширить свой континентальный шельф (статья 76) в богатом ресурсами регионе. Воспользовавшись сокращением площади ледяного покрова в последние несколько лет, Соединенные Штаты Америки осуществили четыре самостоятельные экспедиции по картографированию морского дна с использованием многолучевого эхолота на ледоколе Береговой охраны США «Healy» и совместно с канадцами запустили программу сбора сейсмических данных с участием двух кораблей в зоне Чукотского бордерленда, Канадском бассейне и комплексе хребта Альфа-Менделеева. Данные, собранные в ходе этих экспедиций, кардинально изменили наше по-

* *Мэйер Ларри А.* — д.геол.н., профессор, директор Центра прибрежного и океанического картографирования при Университете штата Нью-Хэмпшир, США; участник конференции «Экологическая безопасность в Арктическом регионе» (Университет штата Калифорния, Ирвайн, США, 12 ноября 2010 г.) (e-mail: larry@ccom.unh.edu).

** Перевод одноименной статьи Л.А. Мэйера в сборнике материалов конференции «Климатические изменения в Арктике и морское право», организованной Центром морского права и политики при Университете штата Вирджиния. Сборник был опубликован издательством Martinus Nijhoff Publishers в 2010 г. Печатается с разрешения издательства и согласия автора. Все права соблюдены.

Mayer, L.A., 2010, Seafloor Mapping and Exploration in an Changing Arctic Sea Ice Environment // M.H. Nordquist, J.N. Moore and T.H. Heidar (eds.). Changes in the Arctic Environment and the Law of the Sea, Center for Oceans Law and Policy, 33. Leiden/Boston: Martinus Nijhoff Publishers, pp. 83—106. Reprinted with permission from the publisher.

Перевод на русский язык — А.В. Маслова, Е.С. Попова, Н.В. Силаева, Н.Г. Тренина (кафедра иностранных языков факультета мировой политики МГУ имени М.В. Ломоносова).

нимание батиметрии и геологии Северного Ледовитого океана и будут иметь важные последствия с точки зрения подачи заявок на расширение континентального шельфа в данном регионе. В статье рассматривается вековая история картографирования в Северном Ледовитом океане, объясняются изменения ледовых условий в Арктике и дается подробное описание указанных экспедиций, имеющих большое научное и политико-юридическое значение.

Ключевые слова: Арктика, США, картографирование, батиметрия, изменение климата, Конвенция ООН по морскому праву, расширенный континентальный шельф.

Введение

Человек вынужден исследовать. Мы исследуем в поисках знания и ради постижения истины, получения эмоционального удовольствия от открытия, обогащения, а с момента возникновения национальных государств — ради установления национального суверенитета. основополагающим элементом процесса исследования является картографирование — нанесение неизвестных областей на геопространственную систему координат, которая задает двух- или трехмерный контекст всем будущим действиям. На Земле найдется не так много мест, которые бы будоражили исследователей больше, чем обширные, заснеженные и покрытые льдом просторы Арктики. Борясь с сильными морозами и изменчивыми климатическими условиями, исследователи сначала скрупулезно составляли карты арктического побережья, а с начала XX столетия стали состязаться друг с другом за пальму первенства в покорении Северного полюса. При этом, продвигаясь все дальше и дальше на север, исследователи ничего не знали о том, что находится подо льдом.

Самые ранние карты Арктики (например, атлас Меркатора 1595 г.), составлявшиеся исключительно на основе домыслов и предположений, изображали остров на Северном полюсе, окруженный четырьмя большими массивами суши. Такое представление о том, что находится под арктическим льдом, господствовало до конца XIX столетия, пока Фритьоф Нансен не собрал первые батиметрические данные в Заполярье во время свободного плавания по Северному Ледовитому океану на специально оборудованном судне «Фрам» [15] с 1893 по 1896 г. Ф. Нансен «заял» «Фрам» в массивы пакового льда в районе Новосибирских островов, а затем, по мере того как судно дрейфовало вместе со льдами по Северному Ледовитому океану (пройдя в конечном счете по проливу между Гренландией и архипелагом Шпицберген, ныне известному как пролив Фрама), сделал восемь батиметрических промеров, используя лот-линь — длинную веревку или трос с грузом на конце, опускаемым

к морскому дну для измерения глубины. Основываясь на этих отдельных промерах, которые все как один показали глубину больше 3000 м, Ф. Нансен издал в 1903 г. первую батиметрическую карту Северного Ледовитого океана, изображавшую Арктику как единый глубоководный океанический бассейн (рис. 1).

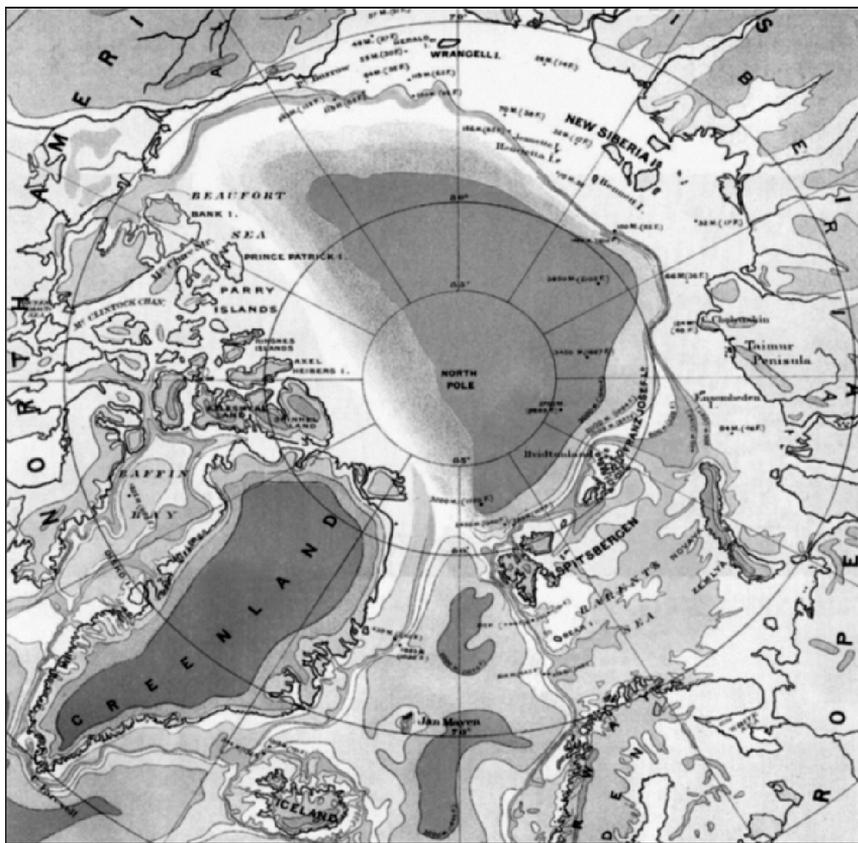


Рис. 1. Батиметрическая карта Арктики, составленная Ф. Нансеном на основе восьми промеров с помощью лотиния [15]

В дальнейшем некоторые полярные исследователи сделали с дрейфовавших судов и стоянок на льду еще несколько глубоких промеров с помощью лотиния, но ни один из них не опроверг представление об Арктике как о едином глубоководном океанском бассейне. Советские ученые добавили к этой скудной базе данных 38 промеров, выполненных с ледяного острова, который дрейфовал между Северным полюсом и Гренландией, в 1937 г., и 46 промеров, сделанных с ледокола, дрейфовавшего по тому же маршруту, что

и судно «Фрам», в 1937 и 1940 гг. В 1941 г. Советский Союз начал организовывать воздушно-десантные экспедиции, которые могли высаживать команды исследователей на лед для осуществления отдельных промеров, что значительно повышало эффективность зондирования. Это увеличило число доступных батиметрических данных, но все же не опровергло убеждения в том, что Северный Ледовитый океан представляет собой единый глубоководный бассейн [21].

После Второй мировой войны СССР снова запустил программы систематического картографирования морского дна как с самолетов, так и с ледяных островов. К тому времени лотлинь был заменен однолучевым эхолотом. В отличие от лотлиня, вытравливание которого занимает много времени и не дает точных данных, эхолот излучает звуковые волны над поверхностью воды (или над отверстием, прорубленным во льду), направленные к морскому дну и легко передающиеся в толще воды. Отталкиваясь от морского дна, эти волны возвращаются к эхолоту, который точно измеряет время, прошедшее от передачи до приема сигнала. Зная скорость звуковой волны в морской воде, можно легко рассчитать глубину путем деления времени прохождения волны пополам. Учитывая, что средняя скорость звука в морской воде равна приблизительно 1500 м/с, измерение толщи воды глубиной 4000 м может быть сделано эхолотом немногим более чем за 5 секунд; однократное измерение той же самой глубины с помощью лотлиня заняло бы много часов.

Значительно увеличив скорость и точность измерения глубины по сравнению с лотлинем (точный угол деривации длинного троса лотлиня вычислить чрезвычайно сложно), однолучевой эхолот, однако, одновременно облучал звуком широкую область морского дна (диаметр области облучения был приблизительно сопоставим с глубиной моря), поэтому глубина каждого отдельного промера имела колебания по ширине (например, получив данные о глубине 4000 м, можно было с уверенностью говорить лишь о том, что сигнал пришел от точки, расположенной в области диаметром около 4 км). В 1949 г. К.О. Эмери издал карту бассейна Северного Ледовитого океана, включившую данные 15 глубоких промеров [6] — большую часть собранных к тому моменту батиметрических сведений.

С началом «холодной войны» усилиям СССР по составлению карты дна Северного Ледовитого океана были противопоставлены программы США и Канады, включая размещение американских дрейфующих научных станций на открытом полковником ВВС США Дж. Флетчером айсберге Т-3 в период 1952—1974 гг. [7], а также канадские сезонные станции LOREX and CESAR [20; 9]. В тот период данные собирали преимущественно с помощью однолучевых эхолотов, размещаемых на дрейфующих полярных стан-

циях; отдельные промеры с помощью эхолота производили также с самолетов и вертолетов. Точно оценить количество промеров, сделанных за тот период, достаточно сложно. Если верить канадскому отчету за 1960—1976 гг., канадцы выполнили 7515 промеров, в основном в областях мелкого шельфа [21]. При составлении советской карты 1954 г. было осуществлено 2000 промеров, с помощью которых впервые установлено существование хребта Ломоносова, а к 1960 г. Советский Союз произвел еще 900 промеров. В 1967 г. Гидрографическая служба Канады опубликовала собственные карты дна Северного Ледовитого океана, используя данные 6000 глубоководных промеров, взятых за основу при составлении карт Арктического бассейна (С I и С II) для третьего издания Генеральной батиметрической карты океанов — ГЕБКО (General Bathymetric Chart of the Ocean — GEBCO), вышедшего в свет в 1968 г. [21]. Указанные программы и карты, ставшие результатом их успешной реализации, значительно расширили знания в области батиметрии Северного Ледовитого океана. Именно они развенчали концепцию единого глубоководного бассейна, продемонстрировав, что дно океана имеет чрезвычайно сложный рельеф, пересеченный многочисленными подводными горными хребтами и возвышенностями. К 1978 г. специалисты Гидрографической службы Канады Л. Собчак и Дж. Суини издали карту Северного Ледовитого океана, основываясь на данных 250 000 промеров, большинство из которых были произведены в областях шельфа, а не глубоководного океанического бассейна. Эта карта легла в основу карты № 571 ГЕБКО, изданной в 1979 г., которая до недавнего времени была самой полной картой Арктического бассейна. Количество промеров, данные о которых были использованы при составлении этой карты, может показаться значительным, однако необходимо учитывать тот факт, что Северный Ледовитый океан имеет площадь примерно 9,5 млн кв. км [11], но при этом в глубоководных областях было выполнено лишь несколько десятков тысяч промеров. Полный обзор истории батиметрии Арктики и составления карт Северного Ледовитого океана можно найти у Дж. Вебера [21].

После исторического путешествия подводной лодки «Nautilus» в 1957 г. американские и, реже, британские ядерные субмарины стали бороздить глубины Северного Ледовитого океана. Многие данные, собранные во время этих проходов, долгое время оставались засекреченными, однако известно, что на основе полученных эхограмм были составлены батиметрические карты [4; 2]. Недавно гриф секретности с эхолокационных данных, собранных американскими и британскими ядерными субмаринами, проходившими по Северному Ледовитому океану в период с 1958 по 1988 г., был снят. Сведения были объединены и включены в карту Арктики нового поколения [16] — Международную батиметрическую карту

Северного Ледовитого океана (International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean — IBCAO [10; 12]).

Эта карта была представлена М. Якобсоном и другими исследователями на заседании Американского геофизического союза осенью 1999 г. [10]. Уникальность карты состояла в том, что она содержала все доступные на тот момент данные промеров, включая рассекреченные сведения, собранные субмаринами, и оцифрованные на основе опубликованных ранее карт контуры тех областей, военные эхограммы которых были недоступны. Все данные были объединены для создания цифровой крупномасштабной модели рельефа на полярной стереографической проекции с интервалом квадрата сетки $2,5 \times 2,5$ км. Эта цифровая модель была положена на бумагу в виде карты рельефа, показанного отмывкой, воскресившей батиметрию Арктики (рис. 2).

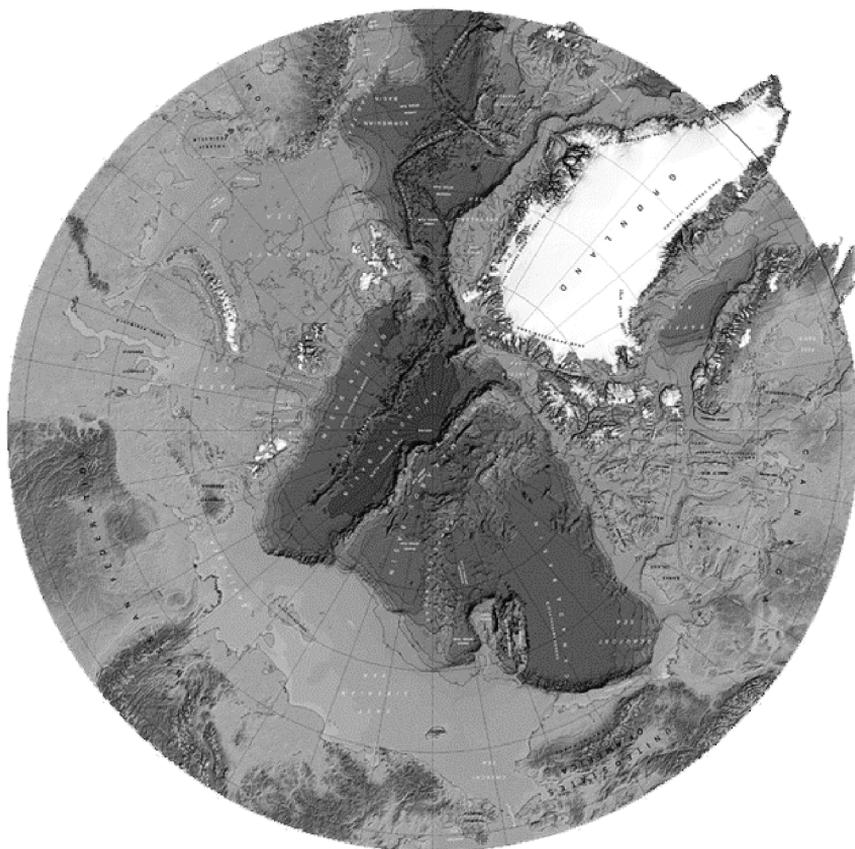


Рис. 2. Первое издание Международной батиметрической карты Северного Ледовитого океана [10]

Современное картографирование

В начале XXI в. произошел новый всплеск интереса к изучению Арктики, сопровождавшийся интенсификацией сбора батиметрических данных. Такое внимание к проблемам исследования региона было обусловлено двумя причинами. Во-первых, ученые пришли к осознанию того, что в глобальном климате происходят серьезные изменения и именно в Арктике, которая является ключевым элементом глобальной климатической системы, они заметны более всего. Доскональное знание батиметрии Арктического региона необходимо для изучения моделей циркуляции вод Мирового океана и элементов глобальной системы распределения тепла. Во-вторых, после ратификации большинством стран — членом ООН вступила в силу Конвенция ООН по морскому праву (UNCLOS), в соответствии с которой (статья 76) прибрежные государства получали суверенные права на разведку и разработку природных ресурсов морского дна и недр (включая живые организмы «сидячих видов»).

Северный Ледовитый океан отличается от других бассейнов тем, что более 52% его площади составляет мелкий континентальный шельф (см. рис. 2) [11], под которым мы понимаем геологический континентальный шельф, определяемый как малоглубинная (как правило, глубиной менее 200 м) часть морского дна, простирающаяся от береговой линии с уклоном на 0,0 и 0,5°. Во всех других океанических бассейнах площадь континентального шельфа составляет менее 20% общей площади. Это означает, что государства, имеющие выход к Северному Ледовитому океану, получают уникальную возможность установить границы расширенного континентального шельфа в соответствии с упомянутой статьей 76 и получить права на разведку и эксплуатацию природных ресурсов (морского дна и недр подводных районов) далеко за пределами нынешних границ (200 морских миль от берега).

В статье 76 Конвенции ООН по морскому праву указано, что прибрежные государства могут определять внешние, юридические (противопоставляющиеся геологическим) границы континентального шельфа. Если доказано, что область, простирающаяся за пределами 200 морских миль, является естественным продолжением сухопутной территории прибрежного государства, делимитация границ расширенного континентального шельфа за пределами 200 морских миль от исходных линий производится посредством определения местоположения «подножия континентального склона» (обозначенного в статье 76 как «точка максимального изменения уклона в его основании») и проведения линии, либо путем отсчета

от фиксированных точек, отстоящих не далее 60 морских миль от подножия континентального склона (линия Гедберга), либо путем отсчета от наиболее удаленных фиксированных точек, в каждой из которых толщина осадочных пород составляет по крайней мере 1% кратчайшего расстояния от такой точки до подножия склона (линия Гардинера).

Существуют пределы расширения границ континентального шельфа; они определены линией в 100 морских миль от 2500-метровой изобаты или линией в 350 морских миль от исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря (обычно в качестве точки отсчета берется береговая линия, указанная на официальных картах прибрежного государства). Самое главное, для определения внешних границ континентального шельфа за пределами 200 морских миль прибрежное государство должно нанести на карту морское дно и толщину осадка его континентального края. Необходимость делимитации границ континентального шельфа и растущее осознание того факта, что Арктика обладает огромным ресурсным потенциалом [17], обусловили возобновление усилий по картографированию морского дна странами, которые гипотетически могут претендовать на расширение своего континентального шельфа в данном регионе (Дания, Канада, Норвегия, Россия, США).

Новый виток исследований морского дна в Арктике совпал с качественным скачком в технологии подводного картографирования. За последние 30 лет ученые перешли от простых однолучевых эхолотов, с помощью которых осуществляли отдельные промеры, к современным сложным эхолотам, способным одновременно «сканировать» большую площадь морского дна многочисленными лучами с высоким разрешением (рис. 3). Многолучевые эхолоты произвели настоящую революцию в подводном картографировании, так как обеспечили полноценное «сканирование» больших участков морского дна (диаметр сканируемой площади, как правило, больше глубины в 3—7 раз), в отличие от однолучевого эхолота, позволявшего получать лишь усредненное значение путем однократного зондирования. Результатом технологической революции стало резкое увеличение степени детализации, что позволило обнаружить множество не нанесенных на карту элементов и многократно расширить представления о геологии морского дна. Для осуществления промеров на больших глубинах современные эхолоты устанавливают в комплекте с крупными гидроакустическими преобразователями (длиной более 6 м и 6 м шириной), как правило, на корпусе научно-исследовательского судна.



Рис. 3. Волновая геометрия многолучевого эхолота, способного «сканировать» большие участки морского дна
(рисунок Atlas Hydrographic)

Многолучевыми эхолотами сегодня оборудованы научно-исследовательские суда по всему миру, но картографирование морского дна в открытых водах сильно отличается от картографирования в покрытых льдом областях Заполярья. Существует ряд проблем, связанных со сбором данных многолучевыми эхолотами в акваториях, покрытых толстым слоем льда. Во-первых, решетка гидроакустических преобразователей должна непосредственно соприкасаться с водой, поэтому их, как правило, располагают вдоль самой глубокой и наиболее выдающейся части корпуса судна. Это приводит к тому, что гидроакустические преобразователи находятся в непосредственном контакте со льдом во время его ломки, а значит, хрупкая керамика преобразователя должна быть защищена от экстремальных нагрузок. Таким образом, защитные покрытия должны пропускать звуковой сигнал и в то же время препятствовать разрушению преобразователя. Во-вторых, процесс эхолокационного зондирования зависит от способности гидроакустического преобразователя улавливать слабое эхо, поступающее с морского дна, в условиях, когда уровень шума от ломки льда и его перемещения вдоль корпуса судна может быть весьма значительным. Сочетание этих факторов существенно затрудняет сбор батиметрических данных в Арктике с помощью многолучевых эхолотов. Тем не менее этими приборами были оборудованы в общей сложности пять ледоколов (канадский «Amundsen», немецкий «Polarstern», шведский

«Oden», американские «Healy» и «Nathaniel B. Palmer»), три из которых («Healy», «Oden» и «Polarstern») регулярно совершают рейсы в высоких полярных широтах. Тот факт, что данные суда смогли собрать за последние 15 лет ценные батиметрические данные в Арктике, стал прямым следствием значительных изменений ледовых условий.

Изменения ледовых условий

В своем четвертом по счету докладе Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) пришла к выводу: «...глобальное потепление имеет место, что следует из повышения средней глобальной температуры воздуха и воды, повсеместного таяния снегов и повышения уровня мирового океана» [8] (рис. 4).

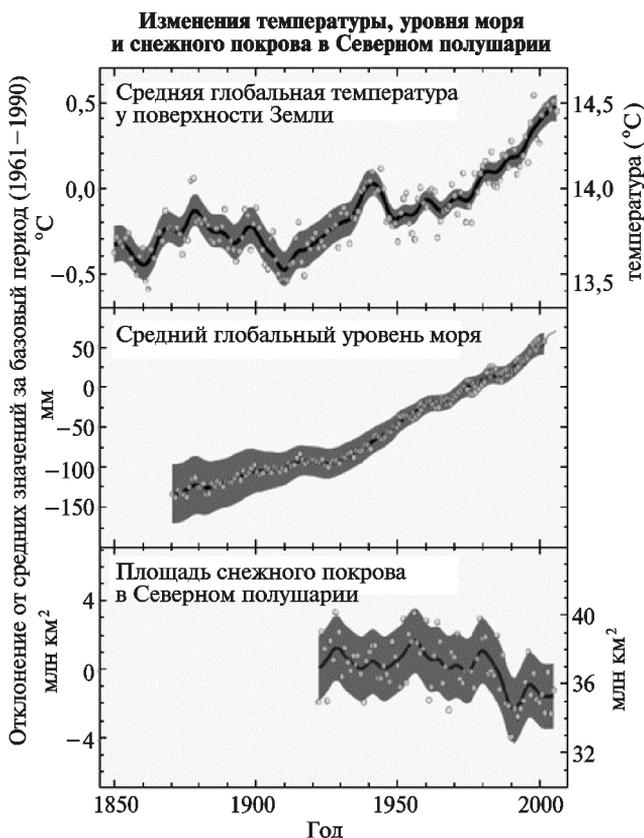


Рис. 4. Изменения средней глобальной температуры у поверхности Земли, среднего глобального уровня моря и площади снежного покрова в Северном полушарии за базовый период (1961–1990) по данным МГЭИК [8]

В отчете приведено несколько свидетельств изменений климата, включая уменьшение среднегодовой площади арктического льда с 1978 г. при еще более заметном снижении летних минимумов. Национальный центр данных о снеге и льде США также приводит сведения о стремительном сокращении площади ледяного покрова в период как наибольшего (апрель), так и наименьшего (сентябрь) оледенения. В частности, в сентябре 2007 г. был зарегистрирован рекордно низкий показатель средней минимальной площади ледяного покрова, составивший, согласно приблизительным подсчетам, 3,7 млн кв. км, что более чем на 1 млн кв. км ниже предыдущего рекордного показателя, зафиксированного в 2005 г. (рис. 5). Еще большую обеспокоенность вызвало значительное сокращение многолетнего льда, который является основой арктического пака. В период с 1980 по 2000 г. лед «старше» 2 лет составлял около 30% общей площади арктического льда, в 2009 г. этот показатель не превысил 10% [1]. Приведенные статистические данные представляют собой усредненные значения, полученные по результатам анализа со спутника, однако отраженные в цифрах реальные показатели значительно изменили условия картографирования в Арктике.

Усилия США в области картографирования рельефа дна Северного Ледовитого океана в целях обоснования прав на расширенный континентальный шельф

В 2002 г. Конгресс США (при участии Национального управления океанических и атмосферных исследований) выделил средства Центру прибрежного и океанического картографирования / Объединенному гидрографическому центру (ЦПОК/ОГЦ) при Университете штата Нью-Хэмпшир на проведение исследований, призванных оценить возможность использования ледокола, оснащенного многолучевым эхолотом, для сбора данных, необходимых для подачи заявки на расширенный континентальный шельф в покрытых льдами районах Северного Ледовитого океана. Это стало свидетельством признания того, что наибольший потенциал для увеличения американского континентального шельфа находится в районе Чукотского бордерленда, представляющего собой плотную группу простирающихся с севера на юг глубоководных возвышенностей преимущественно большой высоты, которые составляют естественное продолжение Чукотского шельфа к северу от Аляски [14]. Согласно статье 76 Конвенции ООН по морскому праву, заявка государства на расширенный континентальный шельф должна быть подкреплена высокоточными батиметрическими и геофизическими данными, но соответствующая база по Арктике на тот момент была недостаточно полной. Для сбора необходимых сведений был

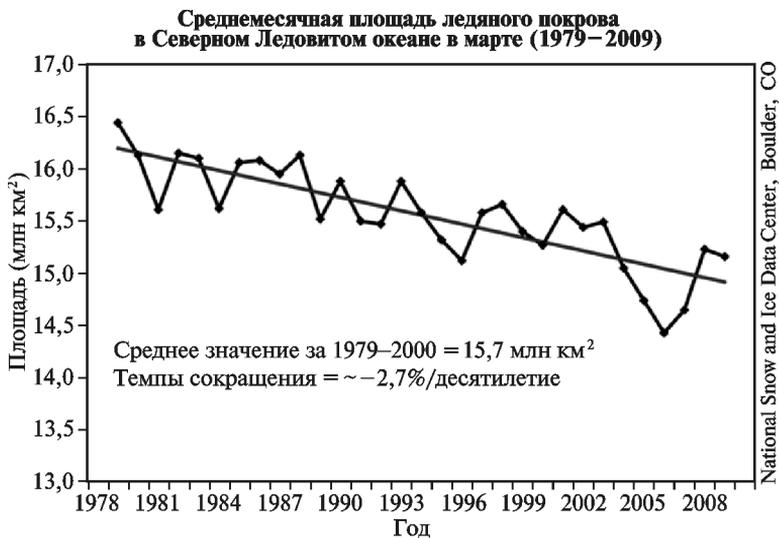


Рис. 5. Среднемесячная площадь ледяного покрова в Северном Ледовитом океане в период наибольшего (март) и наименьшего (сентябрь) оледенения за 1979–2008/09 гг.

График показывает снижение сезонных минимумов в среднем на 11,1% и максимумов на 2,7% за десятилетие (по сведениям Национального центра данных о снеге и льде США [1]).

выбран ледокол Береговой охраны США «Nealy» (WAGB-20), оснащенный эхолотом SeaBeam 2112 (частота импульса — 12 кГц, число лучей — 121) и вибросейсмическим комплексом для изучения придонных осадков Knudsen 320/BR.

Батиметрические данные, которые были собраны с помощью эхолота SeaBeam 2112, установленного на ледоколе «Nealy», содержат геоморфологическую информацию, необходимую для определения линий Гардинера и Гедберга. Вибросейсмический комплекс для изучения придонных осадков Knudsen 320/BR позволяет получить данные о наличии и структуре верхних 50—100 м донных осадков, что может быть использовано для определения процессов их отложения у подножия континентального склона, но не проникает достаточно глубоко в осадочные породы, чтобы установить линию Гардинера. Для определения толщины осадочных пород необходимы сейсмические комплексы, испускающие сигналы более низкой частоты.

Первое исследование по картографированию морского дна было проведено ЦПОК/ОГЦ в сентябре 2003 г. Состоялась десятидневная экспедиция, перед которой была поставлена задача оценить возможность использования многолучевого эхолота в батиметрических целях в водах, покрытых льдами. Ледокол отправился из Барроу к американо-российской морской границе, а затем последовал вдоль глубоководного желоба (глубиной 2500 м) у северного края Чукотского поднятия (рис. 6). Минимальная площадь оледенения в 2003 г. составляла около 5,4 млн кв. км, что в целом вписывалось в общей тренд сокращения площади арктических льдов, но было на 300 тыс. кв. км выше показателей предыдущего года (см. рис. 5). Лед, встречавшийся на пути следования ледокола «Nealy» у северного края Чукотского поднятия, в основном представлял собой однолетний лед средней толщины (1—2 м) и достаточно легко ломался. Это позволило «Nealy» продвигаться вперед со средней скоростью примерно 6 узлов, попутно собирая полезные данные с помощью многолучевого эхолота, и маневрировать достаточно свободно, чтобы «сканировать» отдельные элементы рельефа морского дна. В общей сложности экспедиции удалось «отсканировать» с помощью многолучевого эхолота высокого разрешения область протяженностью 3000 км. Среди других важнейших результатов первой экспедиции можно назвать корректировку предыдущих оценок местонахождения глубоководного желоба, нанесение на карту областей размыва айсбергов и вызванных выделением газа «оспин» на морском дне, а также открытие ранее неизвестной морской возвышенности, поднимающейся более чем на 3000 м над уровнем морского дна.

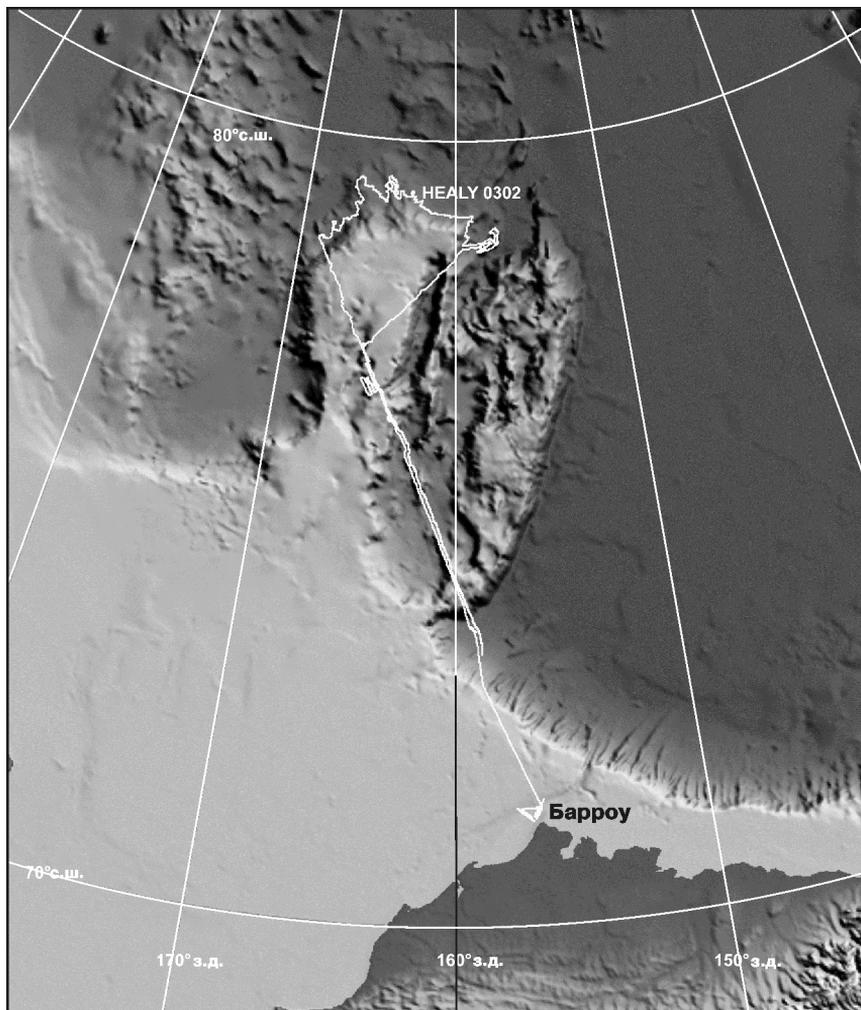


Рис. 6. Путь следования ледокола «Healy» в ходе экспедиции 2003 г.

Ввиду того, что экспедиция 2003 г. оказалась успешной, на следующий год была запланирована более продолжительная, 20-дневная экспедиция, призванная завершить процесс нанесения на карту глубоководного желоба и начать картографирование подножия континентального склона. В 2004 г. минимальная площадь оледенения была практически такой же, как в 2003 г. (около 5,4 кв. км; см. рис. 5), однако ледовые условия на пути следования «Healy» отличались радикально. В 2004 г. многолетний плотный лед покрывал от 90 до 100% области исследования. Местные ветры спрово-

воцировали высокую степень сжатия льда, что значительно осложнило процесс его ломки и сбора данных с помощью многолучевого эхолота. Исследователи на «Healy» с трудом смогли завершить нанесение на карту глубоководного желоба, когда ледокол застрял перед грядой торосов более чем на восемь часов. Преодолев препятствие, ледокол повернулся на юг, выбрался из ледяного пака и провел остальную часть времени, картографируя морское дно под безледным пространством у северного побережья Аляски, где также было необходимо провести картографические исследования подножия континентального склона для подачи заявки на расширенный континентальный шельф (рис. 7).

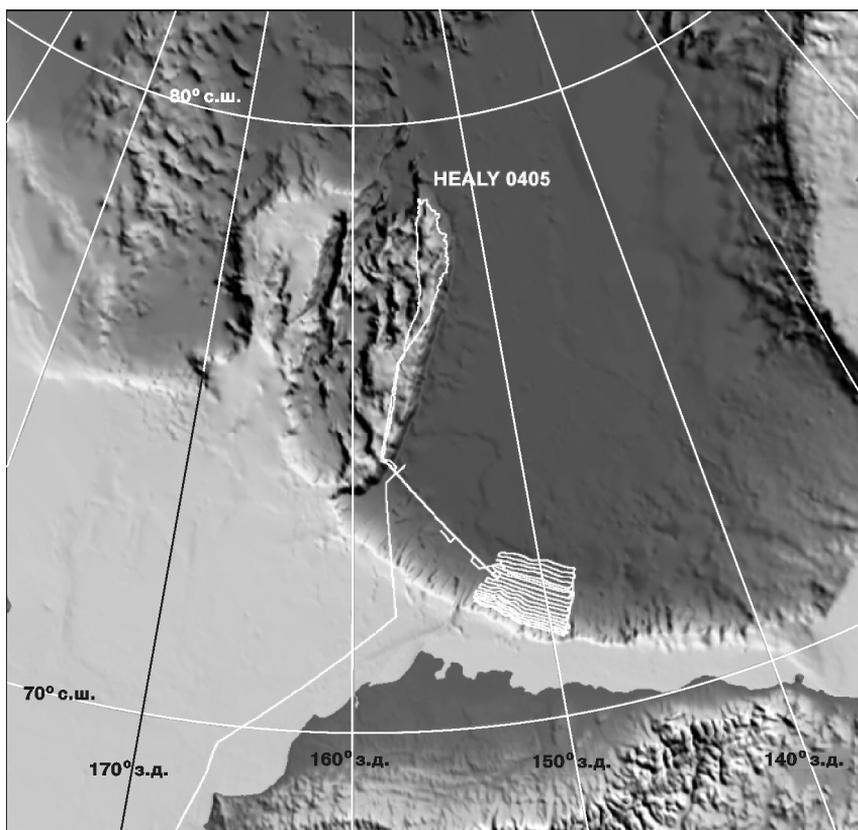


Рис. 7. Путь следования ледокола «Healy» в ходе экспедиции 2005 г.

Следующий арктический поход «Healy» состоялся в 2007 г. На сей раз планировалось осуществить несколько рекогносцировочных обследований и пересечь предполагаемое местонахождение

подножия континентального склона у северной границы Чукотского поднятия, расположенного примерно на 79° с.ш. В 2004 г. «Nealy» не смог продвинуться дальше этой границы из-за ледяных торосов. Ледовые условия в 2007 г., однако, радикальным образом отличались от предыдущих лет: как показано на рис. 5, минимальная площадь ледяного покрова опустилась до рекордно низкой отметки (примерно 3,8 млн кв. км). По пути следования ледокола находилось небольшое количество тонкого однолетнего льда (или же льда не было вовсе) и отдельные глыбы многолетнего льда, с легкостью разбиваемые ледоколом. Эти осколки скапливались по бокам судна, а не проходили под дном, через датчики эхолота, что позволило делать многолучевые эхограммы высокого разрешения на скорости более 6 узлов (обычная скорость движения научно-исследовательских судов во льдах составляет от 3 до 4 узлов).

Передвижения в районе предполагаемого местонахождения подножия континентального склона вдоль указанной на картах северной границы Чукотского поднятия не выявили значительных изменений в крутизне уклона и структуре осадочных отложений. Воспользовавшись благоприятными ледовыми условиями, «Nealy» продвинулся на север до $81^{\circ}15'$ с.ш., где обнаружилось очевидное изменение склона, связанное с резким переходом к осадочным отложениям пологой абиссальной равнины. Совершив еще несколько рейсов по линии север—юг, ученые неизменно обнаруживали тот же переход от осадочных отложений континентального склона к осадочным отложениям абиссальной равнины, что дало возможность отнести предполагаемое подножие континентального склона на 100 морских миль севернее обозначавшегося ранее на картах места. Если в ходе дальнейших исследований будет установлено, что данный переход совпадает с юридической границей подножия континентального склона, это будет иметь огромное значение для определения внешней границы континентального шельфа в данном регионе. Кроме того, в ходе экспедиции было обнаружено и изучено несколько топографических возвышенностей, достигающих высоты более 2500 м, что также будет иметь значение с точки зрения делимитации границ предполагаемого расширенного континентального шельфа (рис. 8).

В 2003 г. несколько крупных и отчетливо видимых «оспин» на морском дне были обнаружены в мелкой (приблизительно 500 м глубиной) области Чукотского поднятия, с приблизительными координатами $76^{\circ}30'$ с.ш. и $163^{\circ}50'$ з.д. В 2007 г., в ходе третьей экспедиции «Nealy», была отмечена «изрытая оспой» область морского дна размером 40×14 км с «оспинами» около 300—400 м в диаметре и 30—50 м глубиной. Осуществлявшиеся одновременно со сбором батиметрических данных поддонные разрезы позволили выявить очевидную связь «оспы» с подводными тектоническими разломами, хотя природа этого явления требует дальнейшего изуче-

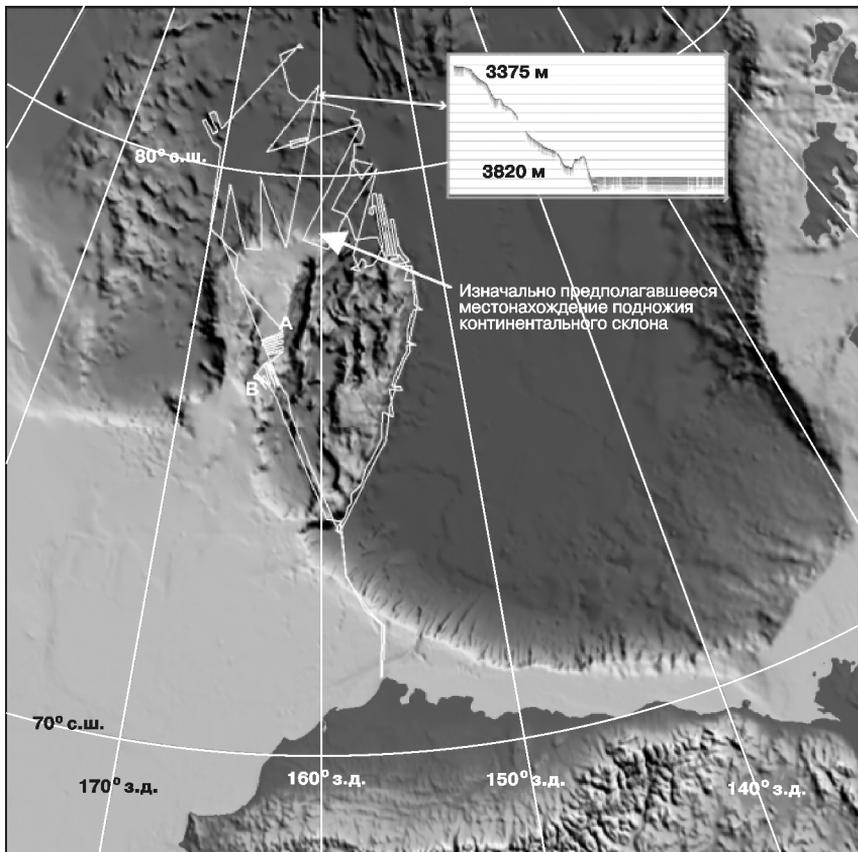


Рис. 8. Путь следования ледокола «Nealy» в ходе экспедиции 2007 г.
 На вставке изображены соотношение глубин и рельеф морского дна у подножия континентального склона

ния. Происхождение «оспин» до конца не исследовано, но, вероятнее всего, их появление вызвано присутствием и выбросами залегающего рядом с поверхностью природного газа и, следовательно, указывает на богатейший ресурсный потенциал региона. В ходе исследований также были обнаружены ряды близко расположенных, протянувшихся с северо-запада на юго-восток параллельных желобов на глубине приблизительно от 400 до 500 м. С учетом их параллельного расположения есть все основания полагать, что их появление обусловлено, скорее, смещением ледяного покрова, нежели подмывом айсбергов. Еще более интересным стало обнаружение к югу от желобов на немного большей глубине ряда крупных, похожих на дюны образований, происхождение которых по результатам исследования профилей твердого дна было отнесено к эро-

зионному. Причиной формирования этих отложений также могут быть водные потоки под ледяным шельфом, основание которого расположено недалеко от морского дна.

Четвертая экспедиция, предпринятая в целях установления границ расширенного континентального шельфа в Чукотском море, состоялась в 2008 г. На площади приблизительно 3,9 млн кв. км обледенение не намного превышало рекордный минимум 2007 г. Однако отколовшиеся глыбы многолетнего льда, попадавшие на пути следования «Nealy» в 2007 г., были соединены между собой слоем мягкого, частично талого однолетнего льда. По мере того как ледокол прокладывал себе путь через лед, мягкие структуры попадали под корпус судна, снижая качество эхограмм. Тем не менее научно-исследовательская экспедиция, начавшаяся с того места, где завершился путь ледокола в 2007 г., и посвященная изучению морфологической структуры основания склона вплоть до 150° з.д., была признана успешной (рис. 9).

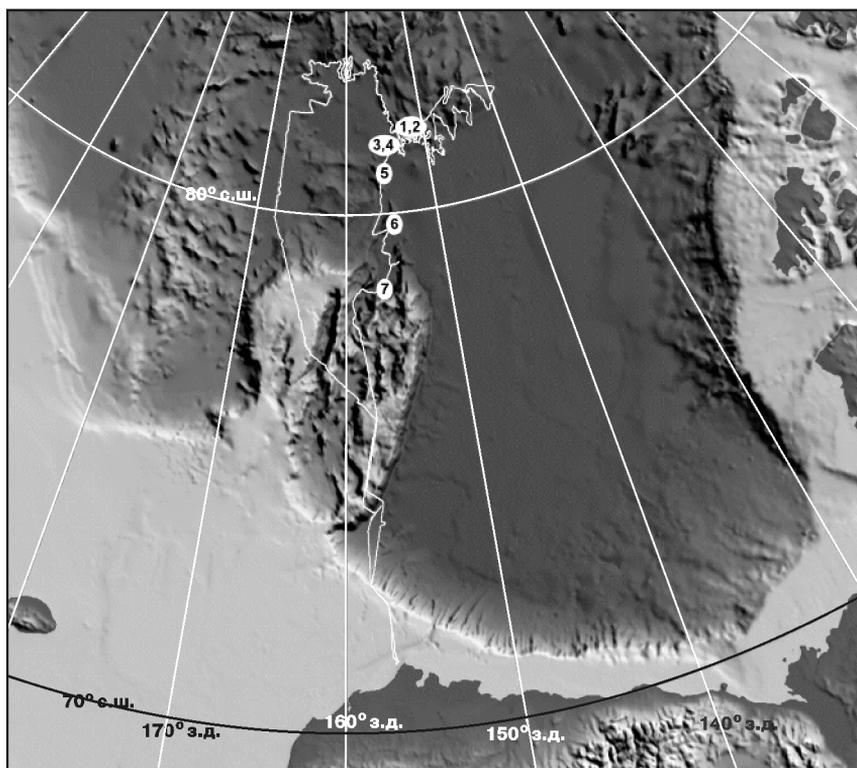


Рис. 9. Путь следования ледокола «Nealy» в ходе экспедиции 2008 г. Пронумерованные участки обозначают места, где были собраны образцы горных пород с морского дна с помощью глубоководной драги

Ледовые условия в 2008 г. также позволили «Nealy» взять пробы грунта с морского дна в ключевых точках с помощью глубоководной драги — устройства для забора образцов, состоящего из стального кольца диаметром 2 м, к которому прикреплена решетчатая «корзина» (рис. 10). Ее опускают на тысячи метров к морскому дну и протаскивают по склонам обрыва в надежде зацепить кусочек горной породы.



Рис. 10. Глубоководная драга, использованная на ледоколе «Nealy» для сбора образцов горных пород с морского дна в ходе экспедиции 2008 г.

Диаметр отверстия драги — около 2 м

В ходе экспедиции 2008 г. в общей сложности было осуществлено семь погружений драги: четыре — в южной части хребта Альфа-Менделеева, две — на хребтах к северу от Чукотского поднятия

и одна — в северо-западной части хребта Нортвинд (см. рис. 9). На многих участках удалось собрать образцы, изучение которых позволит пролить свет на неясное происхождение и геологическую эволюцию комплекса окраинной зоны Чукотского моря и хребта Альфа-Менделеева. Эти сведения также важны для понимания геологии региона, что, в свою очередь, может прибавить вес американской заявке на расширение границ континентального шельфа и усилить аргументы в пользу того, что шельф является естественным продолжением сухопутной территории США. Более детальное описание морфологической природы образцов горной породы и результатов предпринятого Соединенными Штатами картографического исследования расширенного материкового шельфа в Арктике можно найти в работе Л.А. Мэйера [13]. Подробные отчеты об экспедициях также размещены на официальном сайте ЦПОК/ОГЦ [3].

В 2008 г. под эгидой Геологической службы США состоялась еще одна экспедиция «Nealy» совместно с канадским ледоколом «Louis S. St. Laurent», целью которой стало определение толщины осадочных отложений в акватории Канадского бассейна и близлежащих территориях (что требовалось для установления линии Гардинера). «Louis S. St. Laurent» оснащен сейсмической системой, состоящей из нескольких генераторов сейсмических колебаний (пневмопушек), которые производят низкочастотные звуковые волны, способные проходить значительные расстояния и проникать в морское дно на большую глубину. Длинный морской сейсморазведочный кабель крепится к корме корабля и улавливает изменения морского дна и приповерхностных слоев. На основе анализа полученных данных и оценок скорости распространения звука в осадочных породах можно определить толщину последних, необходимую для обозначения внешней границы континентального шельфа согласно статье 76 Конвенции ООН по морскому праву. Однако плавающие в воде осколки льда могут легко повредить прикрепленные к корме корабля генераторы сейсмических колебаний и гидроакустические антенные решетки, поэтому сбор сейсмических данных в этом районе Арктики еще более сложен, чем изучение морского дна с помощью многолучевого эхолота. Вторая совместная экспедиция «Nealy» и «Louis S. St. Laurent» была запланирована на лето 2009 г.

Учитывая материально-технические трудности и сложность сбора сейсмических данных в покрытых льдом акваториях, Канада и США решили совместно проводить исследования, необходимые для научного обоснования заявки на расширение континентального шельфа, несмотря на то что они еще не преодолели разногласия

по поводу морской границы¹, в результате чего некоторые участки расширенного шельфа могут оказаться спорными. Объединение усилий также свидетельствует о чрезвычайной важности научного установления рельефа морского дна и толщины осадочных пород, и чем большая работа будет проделана в данном направлении, тем выше вероятность того, что рекомендации, представленные на рассмотрение Комиссии ООН по границам континентального шельфа, будут внимательно выслушаны, и определение границ будет иметь серьезное научное обоснование.

Заключение

Арктика притягивала исследователей на протяжении многих поколений. Тем не менее до сих пор подробности морского дна, находящегося подо льдами, остаются малоизученными. Первая батиметрическая карта глубоководного Арктического бассейна, сделанная Фридьофом Нансеном в конце XIX в., была составлена на основе всего лишь 8 промеров, выполненных с помощью лотлиня. На протяжении XX в. исследователи продолжали осуществлять отдельные промеры глубин, используя лотлинь и однолучевые эхолоты с ледяных островов, самолетов, подводных лодок или судов, «зажатых» в паковые льды. К концу XX столетия на основе нескольких десятков тысяч отдельных промеров были составлены батиметрические карты, однако база данных по огромной площади глубоководного бассейна Северного Ледовитого океана оставалась скудной.

Новый всплеск интереса к составлению батиметрических карт Арктики произошел в начале XXI в. Он был обусловлен, с одной стороны, пониманием того, что наша планета переживает серьезные климатические изменения, поэтому знания о батиметрии Северного Ледовитого океана имеют большое значение для моделирования процессов циркуляции вод Мирового океана и глобального распределения тепла, а с другой — признанием значительного ресурсного потенциала в Арктике, а также того, что пять прибрежных государств (Дания/Гренландия, Норвегия, Канада, Россия и США) имеют возможность существенно расширить свой континентальный шельф (и, следовательно, установить суверенные права на природные ресурсы морского дна и недр) в соответствии со статьей 76 Конвенции ООН по морскому праву. Для обозначения внешних границ континентального шельфа прибрежное государство должно точно определить рельеф морского дна и толщину осадочных отложений, что подразумевает составление подробной карты.

¹ В море Бофорта. — *Прим. ред.*

Последние достижения в области картографирования морского дна (с использованием многолучевых эхолотов) дают возможность нанести на карту большие участки с полным охватом и высоким разрешением. Многолучевые эхолоты были установлены на нескольких ледоколах, но даже при использовании самых мощных систем получить эхо с морского дна при движении ледокола через толщу льда достаточно трудно. Однако изменения ледовых условий (например, рекордно низкая минимальная площадь оледенения летом 2007 г. и быстрое сокращение доли многолетнего льда в общей площади ледяного покрова) создали благоприятную ситуацию, при которой сбор батиметрических данных с помощью многолучевых эхолотов можно осуществлять на большей части «высокой Арктики».

Воспользовавшись уменьшением площади ледяного покрова в последние несколько лет, Соединенные Штаты к настоящему моменту осуществили четыре самостоятельные экспедиции по картографированию морского дна с использованием многолучевого эхолота на ледоколе Береговой охраны США «Healy» и совместно с канадцами запустили программу сбора сейсмических данных с участием двух кораблей в зоне Чукотского бордерленда, Канадском бассейне и комплексе хребта Альфа-Менделеева. Данные, собранные в ходе этих экспедиций, кардинально изменили наше понимание батиметрии и геологии Северного Ледовитого океана и будут иметь важные последствия с точки зрения подачи заявок на расширение континентального шельфа в данном регионе. Кроме того, были обнаружены многие новые особенности, которые сильно повлияют на наше понимание геологического происхождения этой части Арктики и геологических процессов, происходящих в регионе. Однако, несмотря на то что пять сезонов научно-исследовательских экспедиций по составлению карт значительно приумножили наши знания о бассейне Северного Ледовитого океана, в общей сложности с помощью многолучевого эхолота на карту было нанесено лишь менее 6% морского дна, поэтому исследовать и открыть предстоит еще очень многое. Тенденция к сокращению площади оледенения в целом облегчила доступ в Арктику, но это отнюдь не свободный ото льда регион, и возможность маневрировать и безопасно перемещаться во многом зависит от направления ветра и ледовых условий в том или ином районе. Это было отчетливо продемонстрировано в 2004 г., когда ледокол «Healy» не смог завершить свою миссию по составлению карты морского дна региона выше 75° с.ш. из-за тяжелых локальных ледовых условий.

В четвертом оценочном докладе (ДО4) Межправительственной группы экспертов по изменению климата [8] было представлено несколько сценариев того, что будет происходить с климатом на нашей планете. На основе этих сценариев группой были созданы

различные модели климатических условий для прогнозирования изменений площади морского льда в Северном полушарии. Все без исключения модели показывают неуклонное сокращение ледяного покрова в летние месяцы, которое в целом совпадает со значениями, наблюдавшимися до 1996 г. После 1996 г. модели отмечают устойчивое снижение площади оледенения, в то время как наблюдаемые истинные значения начинают уменьшаться более быстрыми темпами по сравнению с рекордно низкими летними минимумами 2007 г. (и практически идентичными показателями 2008 г.), что на 2,75 млн кв. км меньше средних значений. Это может, в частности, происходить из-за некорректного сравнения краткосрочных природных явлений с долгосрочными процессами [5], однако нет никаких сомнений в том, что площадь арктических льдов стремительно сокращается, и этот процесс будет иметь как краткосрочные, так и долгосрочные последствия.

Некоторые из этих последствий могут принести временные экономические выгоды арктическим державам (облегчение доступа к природным ресурсам и возможность открыть новые судоходные маршруты), но многие исследователи рисуют гораздо более пугающий сценарий с такими негативными явлениями, как уменьшение альбедо и последующее ускорение процесса таяния льдов с неизвестными последствиями для глобальной циркуляции, изменение химического состава океана и рыбных запасов, поднятие уровня Мирового океана и ускорение береговой эрозии. Будущее той Арктики, которую мы знаем, и, возможно, будущее планеты будет в значительной степени зависеть от наших способностей понимать и влиять на те изменения, которые так ярко проявляются в данном регионе, и адаптироваться к ним.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arctic Sea Ice Younger, Thinner as Melt Season Begins [Electronic resource] // National Snow and Ice Data Center [Official website]. April 6, 2009. URL: <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2009/040609.html>.
2. *Beal M.A.* Bathymetry and Structure of the Arctic Ocean. Corvallis, Oregon State, 1969.
3. Central for Coastal and Ocean Mapping / Joint Hydrographic Center [Official website]. URL: <http://www.ccom.unh.edu/law.of.the.sea.html>.
4. *Dietz R.S., Shumway G.* Arctic Basin Geomorphology // Geological Society of America Bulletin. 1961. Vol. 72. № 9. P. 1319—1330.
5. *Döscher R., Karcher M., Kauker F.* Arctic Sea Ice in IPCC Climate Scenarios in View of the 2007 Record Low Sea Ice Event [Electronic resource] // Developing Arctic Modeling and Observing Capabilities for Long-term Environmental Studies [Official website]. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.damocles-eu.org/artman/uploads/2007-record-low_sea-ice-event.pdf.

6. *Emery K.O.* Topography and Sediments of the Arctic Basin // The Journal of Geology. 1949. Vol. 57. № 5. P. 512—521.
7. *Hall J.K.* Geophysical Evidence for Ancient Sea-Floor Spreading from AlphaCordillera and Mendelejev Ridges // Arctic Geology; Proceedings. Memoir, № 19 / Pitcher M.D. (ed.). Tulsa, Okla: American Association of Petroleum Geologists, 1973. P. 542—561.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Synthesis Report, Contributions of Working Groups I, II, and III to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team // Pachauri R.K., Reisinger A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.
9. Jackson H.R., Mudie P.J., Blasco S.M. Initial Geologic Report on CESAR: The Canadian Expedition to Study the Arctic Ridge: Arctic Ocean. Geological Survey of Canada, Paper № 82-22, 1985.
10. *Jakobsson M., Cherkis N., Woodard R., Macnab R., Coakley B.* New Grid of Arctic Bathymetry Aids Scientists and Mapmakers // EOS, Transactions American Geophysical Union. 2000. Vol. 81. № 9. P. 89.
11. *Jakobsson M., Grantz A., Kristofferson Y., Macnab R.* Physiographic Provinces of the Arctic Ocean Seafloor // Geological Society of America Bulletin. 2003. Vol. 115. № 12. P. 1443—1445.
12. *Jakobsson M., Macnab R., Mayer L.A., Anderson R., Edwards M., Hatzky J., Schenke H.W., Johnson P.* An Improved Bathymetric Portrayal of the Arctic Ocean: Implications for Ocean Modeling and Geological, Geophysical, and Oceanographic Analyses // Geophysical Research Letter. 2008. V. 35. № 7.
13. *Mayer L.A., Armstrong A., Calder B., Gardner J.* Sea Floor Mapping in the Arctic: Support for a Potential U.S. Extended Continental Shelf // International Hydrographic Review. May 2010.
14. *Mayer L.A., Jakobsson M., Armstrong A.* The Compilation and Analysis of Data Relevant to a U.S. Claim under United Nations Law of the Sea Article 76: A Preliminary Report, 2002 [Electronic resource] // Center for Coastal and Ocean Mapping [Official website]. URL: http://ccom.unh.edu/publications/Mayer_02_Compilation_analysis_data_relevant_to_UNCLOS_76.pdf.
15. *Nansen F.* The Norwegian North Polar Expeditions, 1893—1896. Vol. 4. Longmans, Green and Co., 1904.
16. *Newton G.B.* The Science Ice Exercise Program: History, Achievement, and Future or SCICEX // Arctic Research of the United States. 2000. Vol. 14. P. 2—7.
17. *Robertson J., Pierce B.* 90 Billion Barrels of Oil and 1,670 Trillion Cubic Feet of Natural Gas Assessed in the Arctic [Electronic resource] // USGS [Official website]. July 23, 2008. URL: http://www.usgs.gov/newsroom/article.asp?ID=1980&from=rss_home.
18. *Sobczak L.W., Sweeney J.F.* Bathymetry of the Arctic Ocean // Arctic Geophysical Review, Publications of the Earth Physics Branch. 1978. Vol. 45. № 4. P. 7—14.
19. United Nations. The Law of the Sea: United Nations Convention on the Law of the Sea, Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea, Office of Legal Affairs, United Nations Publication E. 97. Vol. 10, 1978.
20. *Weber J.R.* The Lomonosov Ridge Experiment: «LOREX 79» // EOS. 1979. Vol. 60. № 42. P. 715—721.
21. *Weber J.R.* Maps of the Arctic Basin Sea Floor: A History of Bathymetry and Interpretation // Arctic. 1983. Vol. 36. № 2. P. 121—142.