

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение)

Серия Океанская

Листы U-1,2 – хребет Альфа

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ

ДЕПАРТАМЕНТ ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ШЕЛЬФЕ
И МИРОВОМ ОКЕАНЕ
(ДЕПАРТАМЕНТ «МОРГЕО»)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
МИРОВОГО ОКЕАНА им. АКАДЕМИКА И. С. ГРАМБЕРГА»
(ФГБУ «ВНИИОКЕАНГЕОЛОГИЯ»)

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение)

Серия Океанская

Листы U-1,2 – хребет Альфа

ОБЪЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

УДК 550.8.012:551.462.32(470+571+99)

Гусев Е. А., Рекант П. В., Черных А. А., Зинченко А. Г. Геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Океанская. Листы U-1,2 – хребет Альфа. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2018. 90 с. + 2 вкл.

В объяснительной записке обобщены новые материалы по стратиграфии, тектонике, геоморфологии, истории геологического развития и перспективам нефтегазодности области сочленения хребта Альфа и поднятия Менделеева. Отдельный раздел посвящен выработке современной модели расчленения осадочного чехла по сейсмическим данным.

Геологическая карта данной области океана издается впервые и отражает современный уровень изученности региона.

В комплект Геолкарты входит компакт-диск с полным объемом авторских цифровых материалов.

Материалы объяснительной записки рассчитаны на широкий круг специалистов, интересующихся региональной геологией и полезными ископаемыми России.

Табл. 4, ил. 21, список лит. 153 назв., прил. 4.

Авторы

*Е. А. Гусев (отв. исполнитель), П. В. Рекант, А. А. Черных, А. Г. Зинченко,
Е. А. Зыков, О. И. Супруненко, С. А. Бондаренко, Е. С. Миролюбова,
А. А. Крылов, И. А. Андреева, Д. Е. Доречкина, Е. С. Новихина,
Е. Г. Атсафурова, М. С. Корнева, Н. В. Шустова,
М. А. Медведева, О А. Вопиловская*

Научный редактор *С. П. Шокальский*

Рецензенты *д-р геол.-минерал. наук А. Е. Рыбалко,
канд. геол.-минерал. наук А. И. Трухалев*

Рекомендовано к печати
НПС Роснедра 6 апреля 2017 г.

- © Федеральное агентство по недропользованию, 2018
- © Департамент по недропользованию на континентальном шельфе и Мировом океане, 2017
- © Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга», 2017
- © Коллектив авторов, 2017
- © Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Листы U-1,2 входят в Океанскую серию листов, охватывающую часть арктической континентальной окраины России, находящуюся за бровкой шельфа в Арктическом бассейне, точнее в его амеразийской части. Западной границей территории, принадлежащей к серии, является хр. Гаккеля, восточной – Канадская котловина. Площадь листов U-1,2 ограничена 80–84° с. ш. и 180–168° з. д., и составляет 83 200 км². Этот район является одним из наиболее труднодоступных и слабоизученных в данной серии листов. Вместе с тем, по своему геотектоническому положению он является весьма важным для решения вопроса о продолжении континентальных структур шельфа Восточно-Сибирского и Чукотского морей в область Амеразийского бассейна и, соответственно, для определения внешней границы континентального шельфа России.

Район работ характеризуется глубинами дна от 1200 до 3400 м, которые последовательно увеличиваются в восточном направлении. Картируемая площадь целиком располагается в пределах Арктического бассейна и принадлежит к области Центрально-Арктических поднятий. В границы планшета входит северная часть Поднятия Менделеева, место его сопряжения с хр. Альфа, а также прилегающая к ней с востока «абиссальная» равнина Менделеева. Исследования последних лет показали, что применительно к ней употребление слова «абиссальный» неправомерно, несмотря на то, что это официально признанный ГЕВСО топоним [151]. Данная равнина, во-первых, принадлежит к континентальной окраине, во-вторых, имеет меньшие глубины, нежели признаваемые характерными для абиссальных равнин 4000 м и более [38, 152]. Кроме того, она представляет собой промежуточный элемент, являясь террасой. С позиций пересмотренного представления о Внешней границе континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане, вся площадь данных листов целиком располагается в пределах континентальной окраины Евразии, а именно – входящего в ее состав сложного континентального склона [132].

Основой для карт комплекта послужили результаты российских и зарубежных экспедиций последних лет. Использованы новые сейсмические данные, полученные иностранными экспедициями с бортов ледоколов «Полярштерн» (Институт полярных исследований им. А. Вегенера, Германия, 2008 г.), «Хили» (Геологическая служба США, 2005 г.). Привлечены также высококачественные сейсмические и геологические данные комплексной Российской экспедиции «Арктика-2012».

Представляемый комплект геологических карт и объяснительной записки к ним является своего рода квинтэссенцией наших современных представлений о геологии и минеральном потенциале данного региона. Работы по составлению комплекта современной геологической основы листов U-1,2 проводились в отделе геологического картирования ФГБУ «ВНИИОкеангеология» с привлечением сотрудников отдела нефтегазоносности Арктики и Мирового океана. Геофизическая основа листов составлена сотрудниками отдела системных геолого-геофизических исследований.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Поднятие Менделеева вместе с хр. Альфа образуют трансокеаническое горное сооружение, которое непрерывно прослеживается от Евразийского шельфа до континентальной окраины Канадского Арктического архипелага. Граница между двумя составляющими – это сооружение поднятиями, которое идет несколько севернее 83° с. ш. по проходу Содружества [71]. Однако согласно газеттиру GEBCO, она официально проводится севернее 84° с. ш. На западе (за границей листов) поднятие Менделеева сопрягается с котловиной Подводников, на востоке – с «абиссальными равнинами – Чукотской и Менделеева. Поднятие Менделеева, а также примыкающие к нему депрессии представляют собой серию погруженных блоков континентальной окраины. За южной рамкой листов поднятие Менделеева протягивается на 450 км и сопрягается с шельфом Восточно-Сибирского моря. Абсолютные отметки вершин подводных гор Поднятия Менделеева и хр. Альфа в пределах площади листов U-1,2 составляют от 1200 до 1460 м. Террасы поднятия имеют глубины 1200–1400 м, 1500–1600 (1700) м, 1800–2000 м, 2000–2300 м, 2300–2400 м. Скачкообразное изменение глубин в пределах поднятия Менделеева происходит в северном направлении. Глубоководная равнина Менделеева лежит на уровне 2800–3300 м.

Батиметрическая основа листов U-1,2 составлена еще в 2005 г. Центральным картографическим производством Главного управления по навигации и океанографии (ГУНиО) Министерства обороны Российской Федерации (рис. 1). Обеспеченность батиметрической основы данными показана на рис. 2. Для изучения структуры рельефа отдельных районов использовались также данные детальных промеров многолучевым эхолотом, выполненных в 2010–2011 гг. ГНИНГИ [1], а также полученных с подводных лодок экспедиции «Арктика-2012» [20, 21, 75].

Климат района суровый, арктический. Одним из основных факторов, формирующих климат на исследуемой территории, является приток солнечного тепла. Более 80 % солнечной радиации, поступающей на поверхность арктических льдов, отражается и в нагреве нижнего слоя воздуха не участвует. Высокоширотное расположение обуславливает крайне неравномерное поступление солнечной радиации в течение года. В период полярной ночи приток солнечного тепла отсутствует и происходит непрерывное выхолаживание водной поверхности и прилегающих воздушных масс, значение радиации не превышает 9 ккал/см^2 ($10/467$ ватт-час). В период полярного дня, наоборот, происходит непрерывный приток солнечного тепла и, следовательно, нагрев атмо-

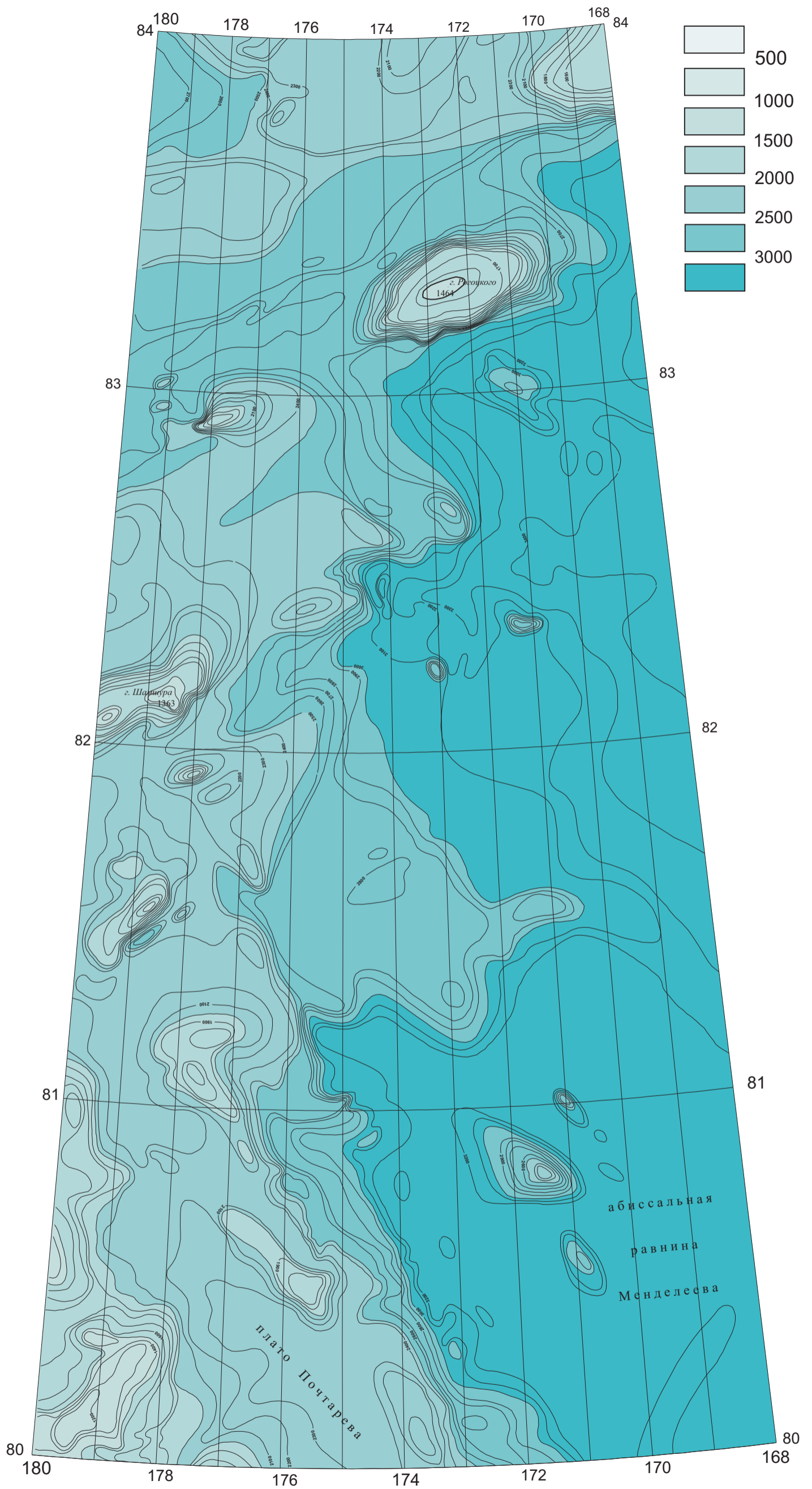


Рис. 1. Батиметрическая основа листов U-1,2, составленная ГУНиО в 2005 г. Автор – В. А. Серов
Сечение рельефа – 100 м.

сферы. Максимальный приток радиации происходит при безоблачном небе и составляет порядка 12–14 ккал/см² (13,956–16,282 ватт-час), а годовая величина суммарной радиации составляет 65–75 ккал/см² (75,595–87,225 ватт-час) [3].

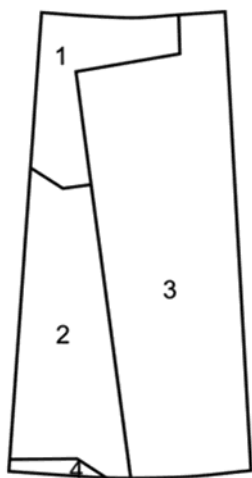


Рис. 2. Батиметрическая изученность площади листов U-1,2.

- 1 – одна глубина на площадь 10 × 10 км, 1971 г.
- 2 – промер галсами через 30 км, 1970 г.
- 3 – одна глубина на площадь 5 × 10 км, 1974 г.
- 4 – промер галсами через 60 км, 1967 г.

На площади листов тяжелая ледовая обстановка, в редкие годы в конце лета паковые льды отступают к северу. Такие аномальные условия наблюдались в 2007, 2010 и 2012 гг. Летом температура отличается исключительной устойчивостью (–5–10 °С) благодаря однородности подстилающей поверхности (тающий лед), тогда как зимой ее значения могут достигать минус 28–32 °С. Ветры в течение года умеренные до сильных, неустойчивые по направлению. Облачность зимой невелика и составляет 4–5 баллов. С июня по сентябрь облачность резко возрастает и повсеместно превышает 9 баллов. Вероятность ясного неба зимой – около 50 % (15–18 дней в месяц), летом – 65 % от 18 до 21 дня в месяц). Осадки малоинтенсивные, причем даже летом примерно 2/3 их выпадает в твердом виде. Сумма осадков не превышает 150 мм и является минимальной в Арктике. Летом характерны частые туманы [3].

Температура поверхностного слоя воды –1,8 °С, соленость понижается стоком рек и летним таянием льдов до 30–32‰. Этот слой подстилается более плотными теплыми атлантическими водами, которые погружаются к северу от арх. Шпицберген и распространяются по всему арктическому бассейну на глубинах от 150–200 до 800 м. Их температура – около 1 °С, соленость – 34,5‰. Циркуляция вод и льдов определяется ветром и водообменом с Атлантическим и Тихим океанами. Средние скорости дрейфа льда и постоянных течений составляют 2–4 км/сут.

В водах Арктического бассейна обнаружено 70 видов фитопланктона, среди них преобладают диатомовые водоросли, 80 различных форм зоопланкто-

на. Животные – моржи, тюлени, белые медведи – обитают преимущественно в южной части площади.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ РАЙОНА РАБОТ

Геологическая изученность

В 1968–1969 гг. на поднятии Менделеева проводились комплексные исследования американской дрейфующей станцией «Чарли»: сейсмические, фотографирование морского дна, донный пробоотбор. Материалы опубликованы в геофизических журналах [89, 90]. В 1982 г. на дрейфующей станции СП-26 наряду с сейсмическими исследованиями проводился донный пробоотбор с помощью грунтовой трубки. Геологической службой Соединенных Штатов Америки (USGS) в 2005 г. с борта линейного ледокола береговой службы США «Хили» (HEALY), был произведен донный пробоотбор с помощью грунтовой трубки и драги [76].

В 2000 г. в рамках листов проводились геологические исследования с борта НЭС «Академик Фёдоров» грунтовой трубкой (4 м) и драгой. Колонки были датированы с помощью U-Th метода [18, 19], в них изучены фораминиферы, остракоды [2]. Изучена намагниченность осадков, определены скорости осадконакопления на поднятии Менделеева [57, 58].

В 2008 г. на площади листов проводились научно-исследовательские экспедиционные работы с ледокола «Поларштерн» (Polarstern). Отобраны донные пробы с помощью боксскорера – гигантского коробчатого пробоотборника – и грунтовой трубки [120].

В 2012 г. в рамках экспедиции «Арктика-2012» выполнены комплексные геолого-геофизические исследования, включающие геологический пробоотбор драгой, телегрейфером, гидростатической трубкой, а также и глубоководное бурение [50, 51, 75, 127].

Магнитометрическая изученность

Систематическое изучение глубоководной части Северного Ледовитого океана методами магнитометрии началось в 1961 г., и на первом этапе (до 1975 г.) выполнялось Научно-исследовательским институтом геологии Арктики – НИИГА (ныне ФГБУ «ВНИИОкеангеология») совместно с Главным Управлением навигации и океанографии Министерства обороны РФ (ГУНиО). В целом несмотря на то, что плотность сети магнитометрических наблюдений акватории листов U-1,2 не самая низкая в Арктике (рис. 3), погрешности привязки наблюдений и определения (ΔT_a) для этих работ очень велики. Аэромагнитная съемка 1964 г. [130] заходит на территорию листов с востока и имеет масштаб 1 : 3 000 000. Она залетана на высоте 600 м и отличается экстремально низкой точностью привязки (± 20 –25 км). В восточную часть листа попадают окончания профилей съемки 1971 г. [139], которая проводилась с самолета ЛИ-2 на высоте 600 м с помощью стандартной магнитометрической аппаратуры тех лет в масштабе 1 : 2 000 000. Применялась штур-

манская привязка, при которой неизбежна огромная ошибка в определении положения маршрутов – в среднем ± 5700 м. В результате среднеквадратичная погрешность съемки в высокоамплитудном поле Американо-Азиатского бассейна огромна: ± 118 нТл. Единственная съемка, охватывающая всю площадь листа, была проведена в 1971 г. [142]. При производстве АМС масштаба 1 : 2 000 000 также использовалась штурманская привязка с погрешностью определения местоположения самолета в среднем ± 6700 м. Попадающие в пределы листа незначительные отрезки профилей съемки 1974 г. [137] характеризуются столь же низкими точностью штурманской привязки (от $\pm 4,2$ до $\pm 6,3$ км) и погрешностью съемки (± 67 нТл). Съемка проведена на высоте 600 м аэромагнитометрами АММ-13 и ППМ в масштабе 1 : 2 000 000.

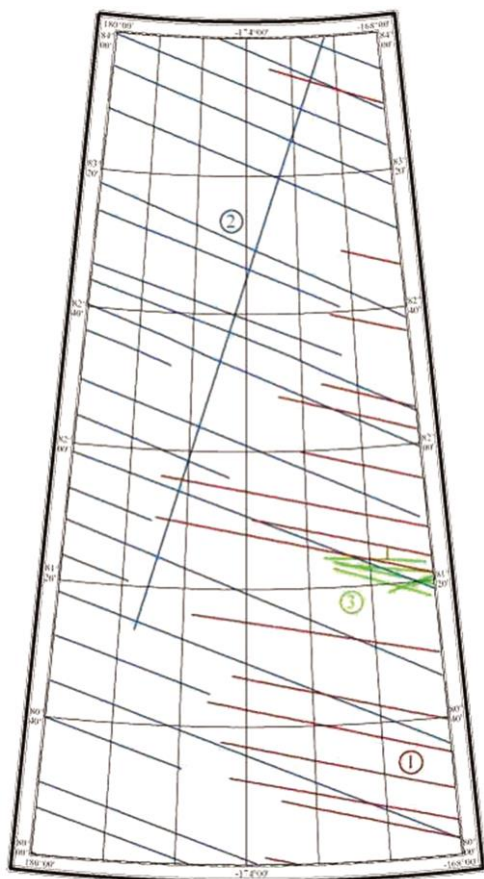


Рис. 3. Схема использованных магнитометрических материалов.

Организации, проводившие съемки и отчеты:

- 1 – СГЭ КСФ, НИИГА, А. М. Карасик, 1971
- 2 – СГЭ КСФ, НИИГА, Ю. А. Курочкин, В. Н. Шимараев, 1971
- 3 – Севморгео, ГУНиО, В. М. Звонарев, В. Г. Щелованов, 1974

ИЗУЧЕННОСТЬ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМИ СЪЕМКАМИ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваемые листы достаточно плохо изучены в гравиметрическом отношении. В основном результаты отечественных наблюдений доступны лишь в виде обобщений (сводных карт) масштабов от 1 : 2 500 000 [128, 135] до 1 : 6 000 000 [129]. Эти карты были оцифрованы во ВНИИОкеангеология и использованы при создании открытой для опубликования сводной цифровой модели аномального гравитационного поля (цифровая модель аномального гравитационного поля ВНИИОкеангеология) АГП (ЦМ АГП ВНИИО) Северного Ледовитого океана – матрицы с размером ячейки 10 × 10 км [14].

В основу перечисленных карт были положены результаты наледных наблюдений, выполнявшихся в 1960–1970-х годах в рамках Высокоширотных воздушных экспедиций (ВВЭ) «Север», организованных совместно с ВМФ СССР. Наблюдения осуществлялись при авиадесантной съёмке масштаба 1 : 2 000 000 и мельче. Использовались самолёты АН-2 и вертолёты МИ-4. Измерения проводились с помощью гравиметров ГАК-3М с погрешностью ±1–2 мГал. Одновременно сейсмическим методом отражённых волн или эхолотом определялись глубины дна океана с погрешностью ±30 м. Пункты наблюдений привязывались астрономическим способом с ошибкой, не превышающей 1 км. Полученные материалы хранятся в ГУНиО и до настоящего времени остаются закрытыми для опубликования (фонды ЦКП ВМФ, в/ч 63988) [134].

Таким образом, наиболее достоверными из отечественных открытых гравиметрических данных по площади рассматриваемых листов являются ЦМ 10 × 10 км [14] и карта А. А. Картелева с соавторами изолиний масштаба 1 : 2 500 000 [140] (рис. 4).

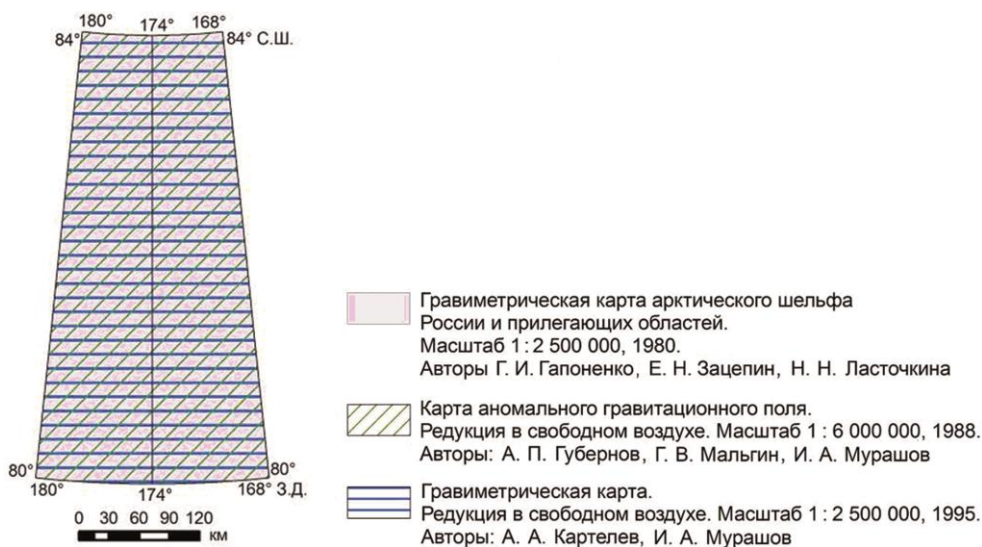


Рис. 4. Схема гравиметрической изученности (открытые отечественные материалы).

В 2008 г. была опубликована сводная цифровая модель гравитационного поля северного полушария (к северу от 64° с. ш.), созданная в рамках Международного арктического гравиметрического проекта (Arctic Gravity Project – ArcGP). Основной целью этого проекта являлось создание наиболее точных глобальных цифровых моделей поля силы тяжести Земли и геоида для северного полушария (к северу от 64° с. ш.) с использованием всех доступных гравиметрических данных. Цифровая модель гравитационного поля, созданная в рамках ArcGP (ЦМ ArcGP), базируется на результатах наземных и наледных съемок, аэросъемок, наблюдений с подводных лодок и данных спутниковой альтиметрии и свободно распространяется через Интернет [150]. На акватории листов U-1,2 цифровая модель ArcGP базируется в основном на результатах расчета гравитационных аномалий в свободном воздухе на основе альтиметрических данных, полученных с геодезического спутника ERS-1 (European Remote Sensing Satellite) [104] и результатах расчета гравитационных аномалий в свободном воздухе на основе альтиметрических данных со спутника ICESat (Cloud and land Elevation Satellite) [84]. Кроме того, использовались результаты гравиметрических съёмок с подводных лодок, выполненных в рамках проекта американских ВМС – SCICEX (Scientific Ice Expeditions), проходившего с 1993 по 1999 год.

Сейсмическая изученность

Представления о глубинном строении площади листов U-1,2 основываются на материалах отечественных и зарубежных исследований (рис. 5). Наиболее достоверные и информативные материалы в этом районе были получены в последние пять лет. Однако в целом территория листов остается слабоизученной.

В пределы листа U-1,2 попадают траектории дрейфа экспедиций «Север-74» и «Север-75», в комплекс которых входили сейсмические исследования в двух вариантах: авиадесантные площадные МОВ и базовые МОВ, ГСЗ-МПВ [133].

Наблюдения МОВ вдоль естественного дрейфа ледовой базы ВВЭ «Север» осуществлялись удлиненной крестовой расстановкой 1150×3500 м с применением 3–4 пунктов взрыва в пределах расстановки. Протяженность дрейфа базовых станций составляла 50–100 км. Координирование сейсмических наблюдений осуществлялось астрономическим способом со средней погрешностью ± 600 – 900 м (рис. 5, линии 1, 2).

Данные этих наблюдений были использованы для получения скоростных параметров разреза на площади исследований.

Авиадесантные площадные сейсмозондирования МОВ проводились по сети с интервалом от 5 до 60 км (в основном 20–30 км), одновременно регистрируя информацию о строении осадочного чехла. Приемная система представляла 12-канальную угловую расстановку 275×275 м с шагом между одиночными сейсмографами 50 м. Пункт взрыва располагался в вершине угла расстановки. Возбуждение упругих колебаний осуществлялось с помощью 3–5 электродетонаторов ЭДС, погруженных под лёд на глубину 8–10 м. Регистрация сейсмической информации велась на аналоговую станцию в виде прямого осциллографирования.

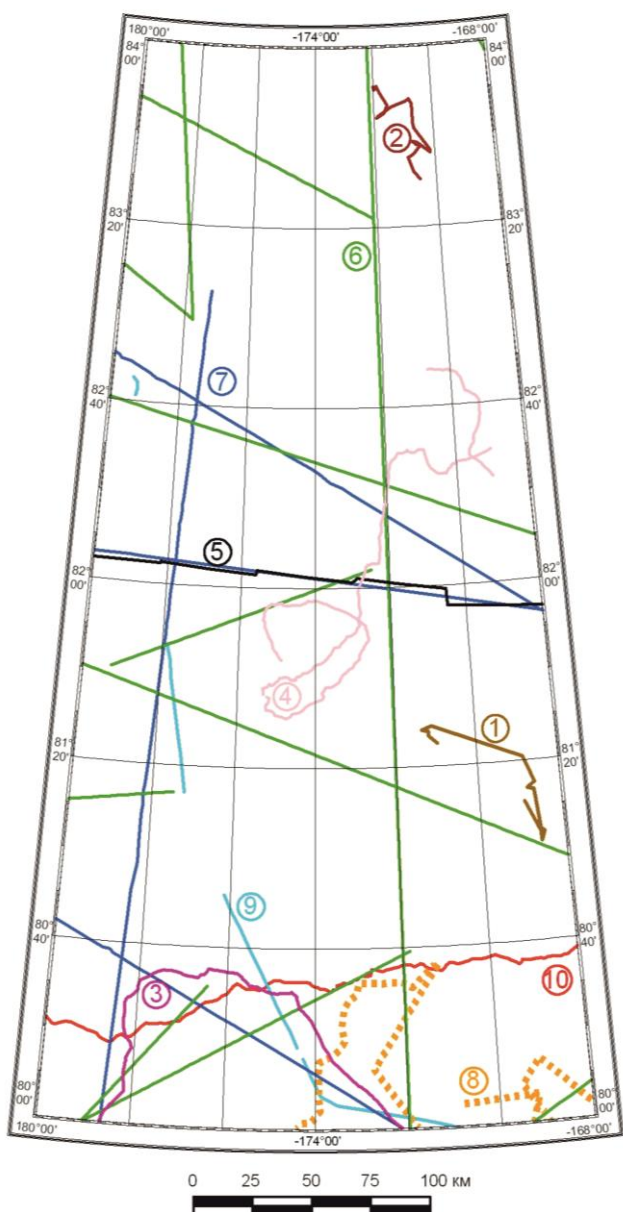


Рис. 5. Схема сейсмической изученности листов U-1,2.

- 1 – НИИГА, ГУНИО, ВВЭ «Север-74», 1974
- 2 – НИИГА, ГУНИО, ВВЭ «Север-75», 1975
- 3 – ААНИИ, ПМГРЭ, СП-26, 1983–1984
- 4 – ААНИИ, ПМГРЭ, СП-26, 1985–1986
- 5 – ВНИИОкеангеология, ФГУНПП «ПМГРЭ», Арктика-2000, 2000
- 6 – ВНИИОкеангеология, 2001
- 7 – ОАО «Севморгео», Арктика-2012, 2012
- 8 – ВВС США, Т-3, 1950–1962
- 9 – СБО США, НОТРАХ05, 2005
- 10 – Институт им А. Вегенера (AWI, Германия), ARK-XXIII/3, 2008

Привязка наблюдений осуществлялась астрономическим способом, погрешность привязки составляла $\pm 0,5-1,0$ км.

По площади листов U-1,2 проходит траектория дрейфа станции «Северный Полюс-26», которая работала два сезона — 1983–1984 гг. и 1984–1985 гг. (рис. 5, линии 3, 4).

В южной части территории листов расположен участок дрейфа 1983–1984 гг. [126]. Сейсмические работы проводились методом отраженных волн по системе дискретных пространственных наблюдений. Для возбуждения упругих колебаний использовался взрыв 3–5 электродетонаторов на глубине 9 м. С июня по декабрь 1983 г. применялась угловая сейсмическая расстановка 550×550 м по 12 каналов в каждом направлении и с ПВ в вершине угла. В декабре 1983 г. угловая расстановка была дополнена 24 каналами и преобразована в крестовую с ПВ в центре. Получен профиль МОВ длиной 1010 км.

Привязка осуществлялась спутниковой навигационной системой с погрешностью ± 200 –300 м.

В результате были изучены рельеф дна, строение осадочной толщи, рельеф акустического фундамента восточного склона хр. Менделеева и прилегающей части абиссальной равнины Североморцев вдоль линии дрейфа станции.

В период 1984–1985 гг. станция «СП-26» дрейфовала по сложной траектории в центральной части Амеразийского бассейна СЛО севернее 81° с. ш. [133] Был получен профиль МОВ длиной 1610 км. Исследования проводились на угловой расстановке 550×550 м, по 12 сейсмоприемников СВ-20М, расположенных через 50 м. Запись велась сеймостанцией СМОВ-0-24. Пункт взрыва располагался в вершине расстановки, где производился взрыв заряда из 2–3 электродетонаторов типа ЭДС на глубине 8 м от нижней кромки льда.

Определение координат линии дрейфа «СП-26» осуществлялось сотрудниками ААНИИ с помощью спутниковой навигационной системы «Шлюз» с точностью ± 300 м.

В результате выполненных работ были получены временные и сейсмогеологические разрезы осадочной толщи вдоль генерализованных трасс дрейфа СП-26 котловины Североморцев, поднятия Менделеева и Канадской котловины. На основании обработки сейсмических наблюдений впервые составлены схематические карты рельефа дна и акустического фундамента на исследованную площадь, а также мощности осадочной толщи в масштабе 1 : 500 000.

В 2000 г. был отработан геотраверс широтного направления «Арктика-2000», пересекающий вкрест поднятие Менделеева и западным концом попадающий на изучаемую площадь (рис. 5, линия 5) [144]. Его протяженность составила 500 км. Исследования проводились с борта НИС «Академик Фёдоров».

Наблюдения ГСЗ выполнялись методом дифференциальных точечных зондирований в авиадесантном варианте с применением двух вертолетов МИ-8МТВ. В качестве приемной системы использовалась линейная расстановка на дрейфующем льду цифровых регистраторов «Дельта-Геон» с трехкомпонентными сейсмоприемниками СК-1П. Для возбуждения упругих колебаний использовались тротиловые заряды от 100 до 1000 кг. Последовательно были отработаны четыре расстановки.

Определение координат пунктов сейсмических наблюдений осуществлялось с помощью ПИ «МХ-4400» ГПС «Навстар» с погрешностью привязки ± 30 –50 м.

Наблюдения МОВ выполнялись авиадесантным способом по методике точечных дискретных зондирований с шагом 5 км. Запись осуществлялась теми же способами, что и при ГСЗ. Качество материалов МОВ оказалось низким.

В результате авиадесантных зондирований МОВ, выполнявшихся в период с 1963 по 1992 год в ходе организуемых ГУНиО МВФ экспедиций «Север», материалы по которым являются закрытыми для использования, глубоководная часть СЛО практически полностью оказалась покрыта площадной гидрографической сейсмической съемкой в масштабе, близком к 1 : 1 500 000 [144]. Однако все эти материалы представляли собой аналоговые записи на бумажных либо магнитных носителях. Они были оцифрованы во ВНИИОкеангеология и ПМГРЭ. Общее число оцифрованных сейсмозондирований МОВ составило около 41 000. На основе этих сейсмозондирований, которые ортогонально сносились в полосе 25 миль на осевой профиль с учетом данных батиметрии, были созданы компилятивные сейсмотриметрические профили. Часть из них попадает в рамки рассматриваемых листов (рис. 5, линия 6).

В 2012 г. силами ОАО «Севморгео» были выполнены комплексные геолого-геофизические исследования с целью обоснования природы Центральноарктических поднятий, примыкающих к ним впадин и определения положения ВГКШ РФ в СЛО (рис. 5, линии 7) [127]. Площадь исследуемых листов пересекают четыре отрезка сейсмических профилей, причем один из них почти полностью совпадает с трассой геотраверза «Арктика-2000».

В работах экспедиции «Арктика-2012» были задействованы дизель-электрические ледоколы (ДЭЛ) «Капитан Драницын» и «Диксон», а также научно-исследовательские атомные подводные лодки (НИПЛ-1 и НИПЛ-2) ВМФ. Ледокол «Капитан Драницын» осуществлял проводку во льдах ледокола «Диксон», а также пробоотбор донных отложений и бурение коренных пород с бортов НИПЛ-1 и НИПЛ-2. С борта ледокола «Диксон» выполнялись сейсмические работы МОВ ОГТ, МОВ-МПВ (зондирования с поверхности воды) и ГСЗ с использованием донных станций.

Сейсмические работы по методике МОВ-ОГТ 2D выполнены компанией WGP Exploration Limited (Великобритания) на девяти прямолинейных профилях общей протяженностью 5315 пог. км. Из этого объема 1942 пог. км сейсмических работ выполнены с длинной косой (4500 м) и 3373 пог. км – с короткой косой (600 м) – в зависимости от ледовой обстановки. Работы проводились с использованием буксируемой сейсмической косы Sercel SEAL Streamer и группового пневмоисточника (ПИ) Volt APG с суммарным объемом до 2050 куб. дюймов (33,6 л) при рабочем давлении 135–145 атм. Источники буксировались непосредственно за кормой судна с выносом 50–130 м при заглублении 5 м. Морские работы МОВ-ОГТ выполнялись по фланговой системе наблюдений. Во время движения судна вдоль профиля со скоростью 4–5 узлов производилось возбуждение сейсмических колебаний и одновременная запись сейсмического сигнала на все приемники с периодичностью 50 м.

Для обеспечения точности позиционирования ПИ и буксируемой сейсмической косы использовалась интегрированная навигационная система TriggerFish с прямоиндикатором GPS C-Nav.

Для навигационно-гидрографического обеспечения использовался программно-аппаратный комплекс «NavySeis» со спутниковыми прямоиндикаторами «TopconGB-500» и «TopconGB-1000». Основным критерием качества навигационно-гидрографического обеспечения работ ГСЗ являются точность постановки АДСС и соблюдения интервалов между возбуждениями ПИ.

Среднеквадратическая погрешность постановки АДСС составила 14,9 м; среднее расстояние между возбуждениями ПИ – 312,04 м; СКП расчета интервалов между возбуждениями ПИ – 12,4 м.

Главным итогом работ экспедиции «Арктика-2012» стала взаимоувязанная сейсмогеологическая модель осадочного чехла и верхней части фундамента Северного Ледовитого океана в области центральноарктических поднятий (комплексные геолого-геофизические разрезы земной коры; карты фактического материала, схемы геолого-геофизических реконструкций и пр.). Получены материалы, уверенно подтверждающие континентальную природу поднятия Менделеева и обосновывающие его тесную структурную и историко-генетическую связь с прилегающим шельфом.

В южной части листов U-1,2 находятся участки дрейфа ледового острова Fletcher (Т-3), который начал свой дрейф в 1952 г. (рис. 5, линия 8). Следующие 8 лет Т-3 продвигался в южном и восточном направлениях на 230 км от северного полюса. Сотрудники Lamont-Doherty Geological Observatory осуществляли программу геофизического изучения глубоководной части СЛО, в которую входили навигационные измерения, глубинное зондирование, наблюдения гравитационного и магнитного полей, а также дополнительно регистрация сейсмических волн, отбор керна и фотографирование дна. В 1962–1963 и в 1966–1968 гг. станция Т-3 дрейфовала по флангу хр. Менделеева и между Чукотским куполом и хр. Альфа [89, 90].

Определение траектории дрейфа ледовой станции осуществлялось двумя способами: либо астрономическим методом с помощью теодолита при хорошей видимости (ошибка определения составляла от 0,5 до 1 км), либо с использованием спутниковой системы США (NNSS), что позволило определять местоположение льдины с точностью до $\pm 0,25$ км. Сейсмический профиль отработывался периодически с 1967 по 1970 год общей протяженностью примерно 4000 км. В этих исследованиях колебания генерировались искровым источником мощностью 9000 Дж. с единственным электродом, опущенным на 8 м под лёд. Приёмником служили 2 гидрофона, разнесенные на 30 м и подвешенные на глубине 4 м подо льдом на расстоянии 25 м от источника. Система имела недостаточную мощность, и отражения от фундамента и низов осадочной толщи получить не удалось. Качество записи оказалось низким [143].

В южной части площади листов также проходят три профиля (рис. 5, линия 9), полученные в 2005 г. на ледоколе «Nealy» [82].

Летом 2005 г. ледокол «Nealy» Береговой службы США пересек Ледовитый океан от Аляски (Dutch Harbor) до Норвегии (Тромсё) для сбора геофизических данных и получения образцов керна с мелководья с целью лучшего понимания палео-океанографической, литологической и тектонической истории Арктического бассейна.

На борту «Nealy» был установлен современный эхо-сонар с многолучевой батиметрической технологией для картографирования морского дна, что позволит проводить измерение на точки, расположенные непосредственно под кораблем с захватом полосы порядка 3 км по маршруту прохождения судна и создавать 3-D модели топографии морского дна.

Всего в этой экспедиции было получено около 2200 км новых сейсмических профилей, 730 из которых проходили через западный фланг Чукотского плато, Чукотско-Менделеевскую котловину и над хр. Менделеева.

Сейсмические исследования МОВ выполнялись группой сотрудников Университета Бергена. Совместно с многоканальной регистрацией сейсмических отражений были получены данные батиметрии и гравиметрии.

Использовались два сейсмоисточника фирмы G-guns объемом 250 дм³. Длина сейсмокосы была ограничена ледовыми условиями до 300 м. При буксировке по льду аналоговой сейсмокосы происходили разрывы и поломки сейсмоприемников (гидрофонов), поэтому количество принимающих каналов изменялось от 24 всего лишь до 11. Сигнал был оцифрован на борту с использованием двух GG-сейсмографов. Взрывной интервал составил 20 с (примерно 40 м) с частотой дискретизации 2 мс. Глубина взрыва составляла приблизительно 5 м и изменялась в зависимости от скорости судна и ледовых условий. Гидрофоны располагались через 12,5 м, и суммированные данные группировались в ОГТ через 6,25 м и накапливались со средним значением 4. Предполагалось прямолинейное расположение сейсмокосы для введения кинематической поправки и суммирования.

Профиль МПВ выполнен вдоль профиля МОВ с использованием того же источника сейсмических колебаний и однокомпонентных морских радиогидроакустических буев типа AN/SSQ-57SPC в качестве регистраторов. Во время отстрела профиля МОВ, если позволяла ледовая обстановка, один рабочий гидроакустический буй развертывался в воде. Всего на хр. Менделеева было отработано 24 постановки. Пять из них содержали регистрируемые преломленные волны. Полученные данные были отфильтрованы в полосе 6-60 Гц, затем применялась предварительная деконволюция для усиления импульса, помогающая распознавать фазы вступления преломленных волн.

Основной задачей обработки данных МПВ являлось построение глубинно-скоростной модели, которая могла бы точно предсказать время прохождения как полученного сигнала, так и взятого из базы данных преломленных волн.

Анализ сейсмических данных МПВ проводился с целью наложения физических ограничений на осадки и состав коры хр. Менделеева, что приводит к ограничению гравиметрических моделей. В ходе данных работ не удалось получить отражения от границы кора–мантия (глубина 32 км), так как главной задачей этого моделирования было описать скоростную характеристику (строение) верхней коры и сопоставить эти результаты с такими же на ближайших структурах Арктики, а также аналогичных структурах всего мира.

В южной части территории листов U-1,2 расположен профиль МОВ ОГТ, выполненный исследователями из Института А. Вегенера (AWI, Германия) с борта ледокола Polarstern в 2008 г. (рис. 5, линия 10) [91, 92]. В ходе работ использовались четыре воздушные пушки G-Guns общим объемом 32 л и сейсмические косы длиной 600 м (96 каналов) и 3000 м (240 каналов). Длина записи составила 12 с, при интервале отстрела 15 с и интервале оцифровки 2 мс.

Помимо данных МОВ во время рейса были получены также широкоугольные данные МОВ и МПВ. В качестве приемников использовались 12 одноразовых сейсмических буев. Максимально достигнутое удаление судна от буя составило 34 км.

СТРАТИГРАФИЯ

В пределах площади листов U-1,2 по результатам изучения интерпретации сейсмических данных и данных донного опробования был установлен сложный комплекс осадочных и магматических образований, слагающих осадочный чехол и фундамент района. Стратифицированные отложения разделены на вспомогательные подразделения (сейсмокомплексы, сеймоподкомплексы). Картографируемые подразделения в целом соответствуют Легенде Океанской серии листов Геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 и дополнениям к ней.

Сеймостратиграфическая основа расчленения геологического разреза

Основой для построения сейсмической модели региона послужила схема расчленения осадочного разреза, положенная в основу Океанской серийной легенды. Впервые данная схема была использована при составлении комплекта листов U-53–56 и U-57–60, выполненного тем же коллективом авторов [65, 145]. Схема базируется на основных положениях сейсмической модели, предложенной Ю. Г. Киселевым [37] для приомоносовской части арктического бассейна.

Принимая во внимание положение картируемой области на стыке структур поднятия Менделеева и континентальной окраиной Восточно-Сибирского моря, для корреляции, описания сейсмических свойств ССК и их последующей стратиграфической привязки нами активно использовался весь доступный материал по площади листов [79, 80, 99, 127], а также площадям, смежным с запада [65, 145], юга [91, 92] и востока [102].

Несмотря на некоторые региональные особенности, сейсмический разрез в целом сохраняет принципиальное сходство с описанным нами ранее для смежных листов U-53–56 и U-57–60. Как и на смежных листах, основным сейсмическим репером, разделяющим сейсмический разрез на мезозойскую и кайнозойскую части, является отражающий горизонт MBU.

Всего в составе сейсмического разреза в пределах большей части картируемой территории было выделено шесть опорных отражающих горизонтов (D_1 , A, MBU, B_2 , Φ_a (LCU)) и один вспомогательный D_2 (рис. 6). Отражающие горизонты ограничивают четыре ССК в составе осадочного чехла, а также два ССК в составе верхней части акустического фундамента. Сейсмокомплексы III и IV образуют комплекс выполнения понижений рельефа акустического фундамента, а ССК-I-II представляют собой горизонтальнослоистую толщу, перекрывающую все неровности субстрата.

Настоящая работа		Винокуров и др., 2013ф			Bruvoll et. al., 2010 г.	ОАО «Севморгео» И. Ф. Кузнецова, А. П. Каленич, 2011 г.		ОАО ДМНГ	
Поднятие Менделеева	Прогиб Вилькицкого	Поднятие Менделеева	Окраинные прогибы	Прогиб Вилькицкого		Южно-Чукотский прогиб	Прогиб Вилькицкого	шельф Чукотского моря	
								Северо-Чукотский осадочный бассейн	Лонгско-Чукотский осадочный бассейн

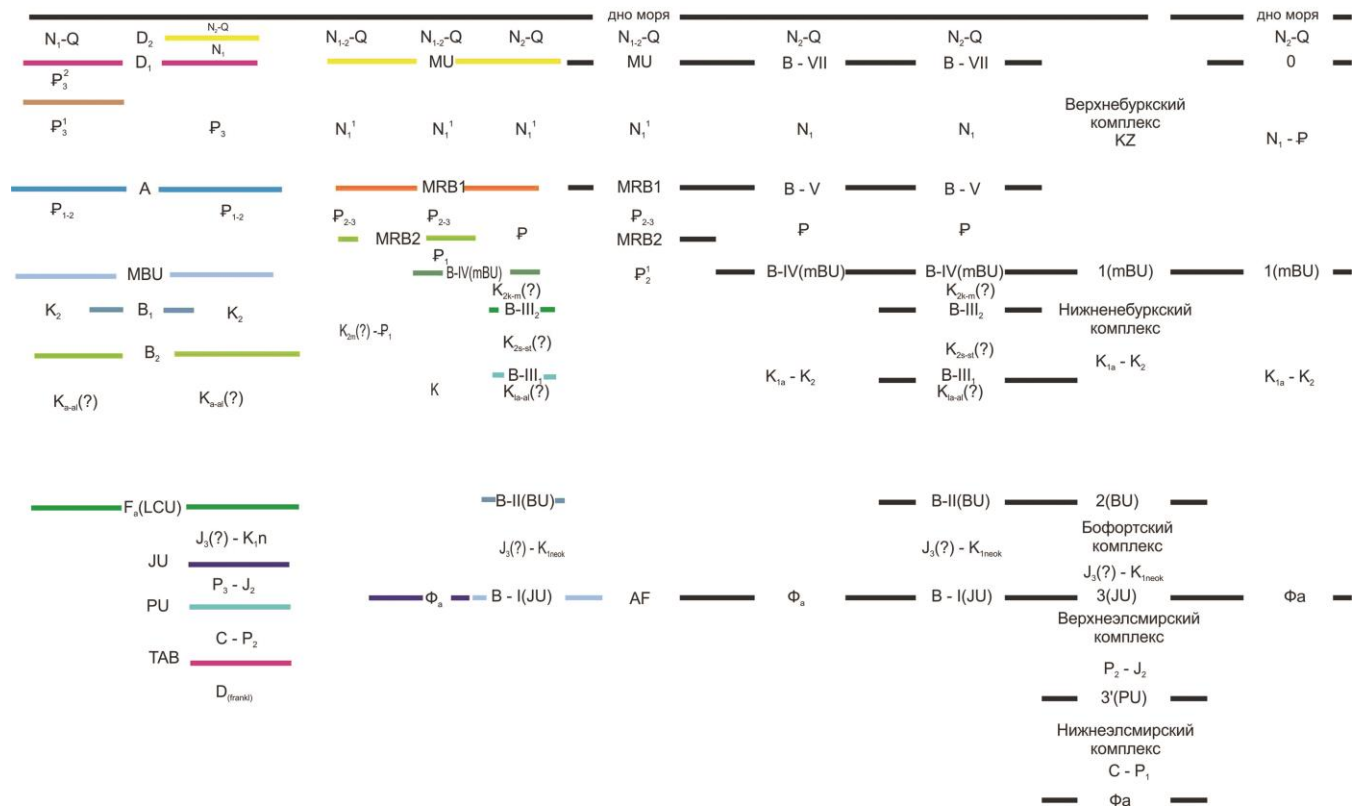


Рис. 6. Схема корреляции сейсмических горизонтов, выделенных разными авторами. Составил. П. В. Рекант.

Оценка скоростных характеристик разреза приводится по материалам опубликованных данных по региону [79, 80, 91, 92, 127]. При разборе часть данных была критически пересмотрена, часть отбракована. В основном были отбракованы данные, полученные в местах резкого воздымания или понижения поверхности акустического фундамента и основных опорных горизонтов, что приводило к заметным искажениям скоростных характеристик разреза.

После этого было проведено сопоставление сейсмической модели, предлагаемой в настоящей работе, с данными определения скоростных характеристик разреза по показаниям сейсмозондов (ГСЗ, МОВ и МПВ), которое показало сходимость результатов. Ниже приводится описание волновых характеристик разреза сверху вниз.

Сейсмокомплекс ССК-I на всей площади уверенно подразделяется на два сеймоподкомплекса ССК-I₁ и ССК-I₂.

Миоценовый сеймоподкомплекс ССК-I₁ устанавливается в самой верхней части сейсмического разреза и ограничен в кровле отражающим горизонтом D₂, в подошве – D₁. Сопоставление принятой в настоящей работе схемы расчленения сейсмического разреза с существующими моделями показывает, что по своему сеймостратиграфическому объему ССК-I₁ коррелируется со структурами:

а – верхней частью первого структурного этажа, выделенного Ю. Г. Киселевым [37];

б – включает в себя два сейсмокомплекса LR-5 и LR-6, выделенных В. Йокатом [100] в гребневой части хр. Ломоносова;

в – с толщей отложений, ограниченной снизу ОГ U₀ [117];

г – сейсмическим комплексом M₁ [80].

На большей площади картируемой области ССК-I₁ вместе с подстилающим его ССК-I₂ входит в состав внутренне согласной параллельнослоистой толщи.

На большей части картируемой области ССК-I₁ согласно залегает на поверхности ССК-I₂ и лишь на поднятиях акустического фундамента по отражающему горизонту D₁ фиксируется видимое несогласие с подстилающими образованиями за счет уменьшения мощности ССК-I₂ и его перехода в состояние т. н. «конденсированного разреза». В пределах западных склонов поднятия Менделеева по отражающему горизонту D₁ фиксируется несогласие эрозийного типа, подробно описанное в работе Брувол и др. [80].

Весьма схожая картина описана и на хр. Ломоносова на нескольких его пересечениях, как минимум от 83-го до 88-го градусов с.ш. как на восточном, так и на западном его склонах. Региональное проявление подобного несогласия позволяет нам экстраполировать данные бурения с приполюсного сегмента хр. Ломоносова, где эта граница стратиграфически привязана к подошве миоцена, непосредственно в районе работ.

Волновая картина этого ССК характеризуется четкой параллельно-слоистой записью, сложенной среднеамплитудными рефлекторами, параллельными дну и облегающими неровности подстилающего рельефа. Толща в целом характеризуется отличной коррелируемостью и прослеживаемостью на всей площади листа и далеко за ее пределами. Характер ее волновой картины, а

также динамические и скоростные характеристики постоянны и слабо варьируют на гребневых участках поднятия Менделеева. Описанное выше обстоятельство позволило нам проводить удаленные корреляции с геологическими материалами по прилегающим районам.

Наблюдается незначительное усиление амплитуды внутренних рефлекторов ССК- I_1 в районе подножья континентального склона Восточно-Сибирского моря. Скорее всего, это может быть логично объяснено увеличением содержания грубой фракции в отложениях из-за приближения к источникам сноса на шельфе Восточно-Сибирского моря.

Пластовые скорости осадков, слагающих этот ССК, колеблются в пределах 1,5–1,7 км/с [37, 98, 100, 127, 138]. Сходные значения пластовых и граничных скоростей показывают результаты последних сейсмических исследований на Чукотском куполе [79, 80]. Здесь установлен сейсмокомплекс, характеризующийся граничной скоростью 1,8 км/с и пластовыми скоростями в пределах ССК от 1,5 до 1,7 км/с.

На континентальном склоне к северо-востоку от Новосибирских островов С. Б. Секретовым также выделяется внутренне конформная толща постоянной мощности с пластовыми скоростями до 1,7–1,95 км/с, ограниченная в подошве горизонтом U_1 . Непосредственно у бровки шельфа эта граница также имеет вид эрозионного несогласия.

Подобная выдержанность скоростных характеристик позволяет уверенно говорить о наличии в составе этого ССК нелитифицированных пелагических или «синокееанических» отложений. Для ССК- I_1 в пределах картируемой области наиболее характерны мощности от 500 до 700 мс (350–550 м). В пределах поднятий они могут сокращаться до 200–300 мс, а у подножья континентального склона увеличиваться до 1100 и даже 1500 мс (до 1100 м).

Олигоценый сеймоподкомплекс ССК- I_2 , как уже было показано выше, слагает нижнюю часть параллельно-слоистой сейсмоакустической толщи, конформной на большей части картируемой области. На склонах подводных гор в гребневой зоне поднятия Менделеева граница D_1 приобретает несогласный характер.

Корреляция с существующими моделями строения чехла показывает, что ССК- I_2 сопоставляется:

- а – с нижней частью первого структурного этажа, по Ю. Г. Киселеву [37];
- б – с LR-3+LR4, по модели В. Йоката [98];
- в – с ССК M2a+M2b по модели В. Брувол [79, 80] для поднятия Менделеева;
- г – с ССК, заключенного между ОГ U_1 и U_3 по модели С.Б. Секретова [117].

ССК- I_2 ограничен в кровле горизонтом D_1 и горизонтом А в подошве. Волновая картина в целом сходна с перекрывающим его ССК- I_1 , однако отличается меньшей динамической выдержанностью и выраженностью. На большей части картируемой площади для этого ССК характерна полупрозрачная волновая картина, сложенная низкоамплитудными плоско-параллельными рефлекторами. На большей части картируемой области ССК- I_2 согласно залегает на подстилающих образованиях ССК- II_2 .

Мощности сеймоподкомплекса на большей площади листа варьируют в пределах 600–1200 мс (~500–1100 м), однако на западной периферии карти-

руемой области мощности ССК- I_2 значительно уменьшается, переходя в так называемое «состояние конденсированного разреза». При этом резко уменьшаются мощности элементарных слоев, ограниченных внутренними изохронными рефлекторами, что связано с резким уменьшением скорости осадконакопления преимущественно глубоководных отложений в дистальных частях бассейна. В этом случае на сейсмических профилях фиксируется видимое несогласие между подстилающими (ССК- I_2) и перекрывающими (ССК- I_1) отложениями. Увеличение мощностей этого сейсмокомплекса в районе подножья континентального склона свидетельствует о преобладающем сносе осадка с шельфа Восточно-Сибирского моря.

Скоростные характеристики сейсмоподкомплексов изменяются в незначительных пределах. Пластовые скорости осадочных образований, входящих в состав ССК- I_2 , определенные по результатам МОВ [37, 79, 80, 134, 138], находятся в пределах 1,8–2,2 км/с.

Палеоцен-эоценовый ССК-II ограничивается в кровле региональным сейсмическим опорным горизонтом А. В пределах глубоководных котловин ССК-II ограничен в подошве горизонтом mBU и согласно перекрывает ССК-III, на поднятиях с несогласием залегает на кровле разновозрастных образований.

Волновая картина этого ССК в пределах картируемой области достаточно изменчива: от выразительных, слегка волнистых параллельных рефлекторов до слабых низкоамплитудных отражающих площадок по всему разрезу. Вниз по разрезу сейсмокомплекса амплитуда внутренних отражений значительно снижается. Практически повсеместно в его кровле фиксируется цуг высокоамплитудных рефлекторов, что позволяет уверенно диагностировать этот комплекс в разрезе.

Нижнюю часть ССК слагают акустически полупрозрачные отложения. По своему стратиграфическому объему он сопоставляется с ССК U_3 - U [117] и ССК M2b [79, 80].

Мощность этого ССК в пределах картируемой области варьирует от 100 до 1250 м, несколько увеличиваясь в южной части и сокращаясь над выступами акустического фундамента. Скорее всего, формирование этого ССК в районе происходило за счет размыва субстрата поднятия Менделеева. Интервальные скорости меняются здесь в пределах 2,3–2,3 км/с.

Верхнемеловой ССК-III в кровле ограничен горизонтом mBU, который является опорным сейсмическим репером для сибирского шельфа. Внутри ССК-III прослеживается локальный сейсмический рефлектор B_1 , стратиграфическая привязка которого пока не ясна. В подошве фиксируется горизонт B_2 . Волновая картина этого ССК представлена протяженными плоскопараллельными среднеамплитудными рефлекторами. Латеральная выдержанность динамических характеристик невысокая. Наблюдается заметное усиление амплитуд внутренних рефлекторов в непосредственной близости от поднятий акустического фундамента. Последнее может свидетельствовать о наличии в этих частях разреза ССК-III более грубых отложений. Скоростные параметры отложений в границах этого ССК не вполне ясны. Согласно данным МОВ ОГТ, пластовые скорости здесь варьируют в пределах от 2,2 до 4 км/с.

Привлечение к корреляции сейсмических данных со смежных площадей [117] позволяет скоррелировать этот сейсмокомплекс с ССК, заключенным между границами U и S. ССК-III является комплексом выполнения локальных грабенов и прогибов на склонах поднятия Менделеева. Максимальные мощности фиксируются у подножия континентального склона (около 1000 м), постепенно уменьшаясь к северу до 200–500 м. Такая локализация депоцентров осадконакопления говорит о накоплении этого ССК во время активизации тектонических движений и усиления размыва окружающих положительных форм рельефа.

Апт-альбский ССК-IV является самым нижним уверенно выделяемым в волновой картине сейсмическим комплексом, ограниченным снизу горизонтом LCU. В кровле он ограничен горизонтом В₁. Комплекс имеет ограниченное распространение, он распространен в нижней части континентального склона в южной части территории листа, а также в локальных грабенах и прогибах на поднятии Менделеева. Волновая картина ССК-IV сходна с картиной ССК-III, однако имеет менее выдержанные динамические характеристики разреза по латерали. В целом ССК-IV – это акустически слабослоистая толща, залегающая в самом основании комплекса выполнения понижений рельефа акустического фундамента.

Мощности ССК-IV увеличиваются в южном направлении. В области континентального склона мощности достигают 3000 м и имеют тенденцию увеличения далее на юго-запад. Привлечение данных по смежным областям [117] подтверждает это предположение.

Скоростные параметры отложений, слагающих этот ССК, не вполне ясны, судя по имеющимся данным, можно оценить их лишь в самых общих чертах. В первую очередь, это обусловлено отсутствием в его составе протяженных отражений, необходимых для пересчета пластовых скоростей, а также динамической невыраженностью его кровли и подошвы. Скорее всего, этот ССК сложен породами с пластовыми скоростями в диапазоне от 3,5 до 4,5 км/с. Участки повышенных скоростей могут быть скоррелированы с меловыми базальтами, широко распространенными в разрезе в гребневой зоне поднятия Менделеева.

ССК-V сопоставляется с бофортским синрифтовым комплексом, установленным сейсмическими работами на Аляскинском шельфе [102]. Непосредственно в пределах картируемой области установлен только в пределах прогиба Вилькицкого.

ССК-VI выделяется на сейсмических разрезах ниже кровли акустического фундамента. ССК-V ограничивается горизонтом LCU в кровле и горизонтом PU в подошве. Волновая картина комплекса неупорядочена для большей части территории и изредка образована серией слабых непротяженных рефлекторов. Чаще всего они образуют согласную моноклиналиную толщу с углами падения до 10° (рис. 7). Подошва сейсмокомплекса сопоставляется с отражающим горизонтом PU на Аляскинском шельфе, однако в пределах площади листа на профилях МОВ ОГТ не фиксируется. Мощность комплекса на большей части картируемой области составляет 700–2000 м.

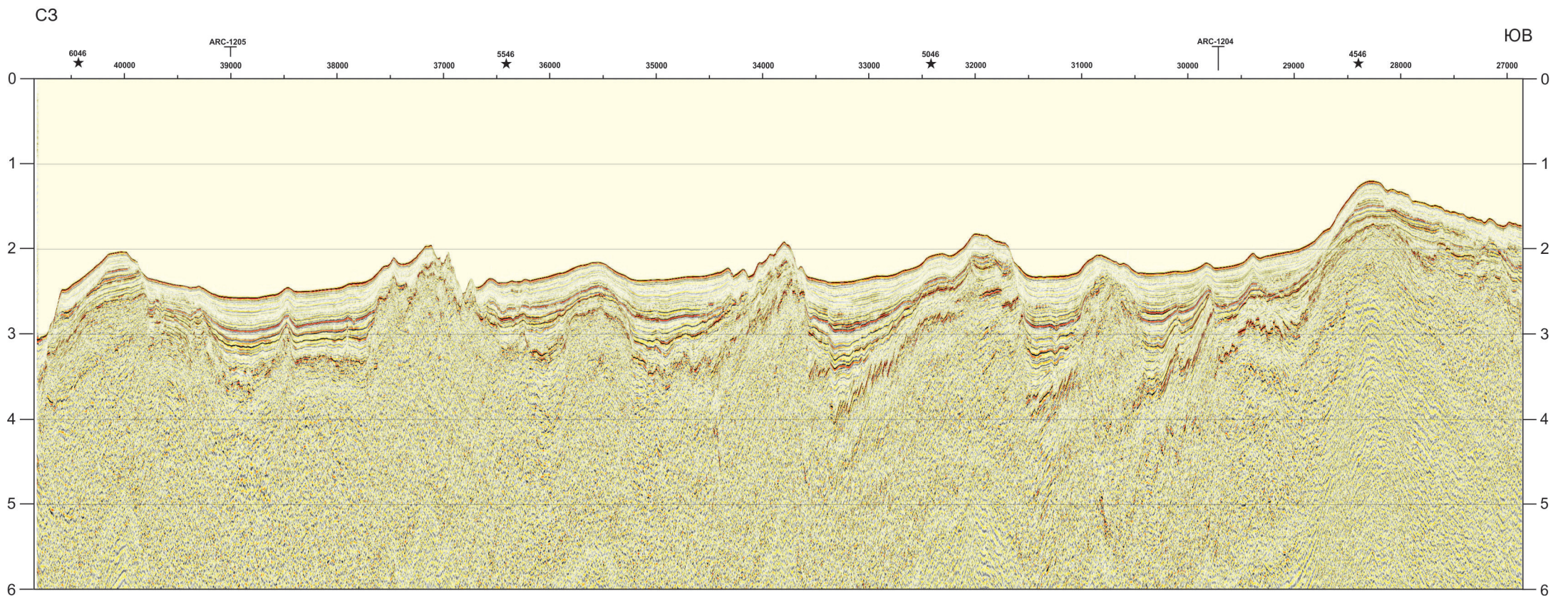
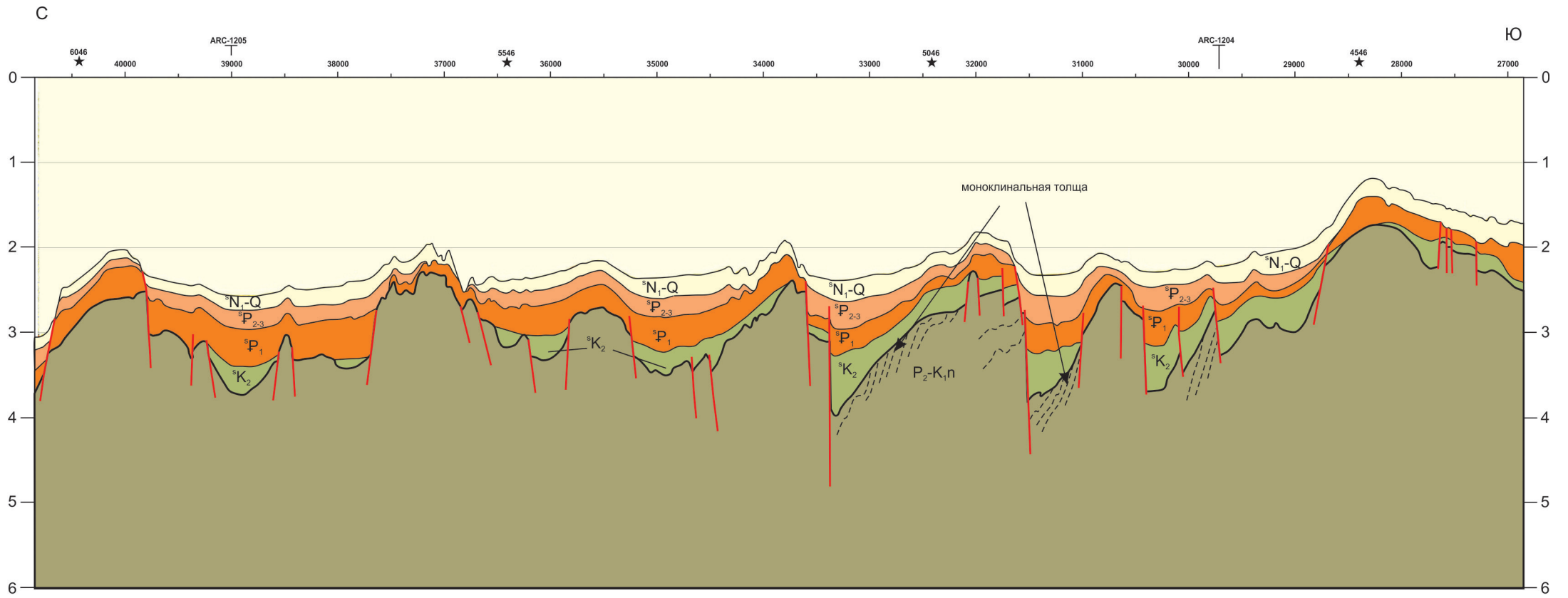


Рис. 7. Пример сейсмической записи по фрагменту профиля МОВ ОГТ ARC 12-01.

Стратиграфическая характеристика разреза

АРХЕЙ–ПРОТЕРОЗОЙ

Нерасчлененные архейско-протерозойские образования (AR-PR) в пределах картируемой площади залегают ниже поверхности акустического фундамента и интерпретируются в качестве кристаллического. О наличии в разрезе комплекса древних метаморфических образований, коррелируемых с консолидированным основанием, говорит практически повсеместное распространение магматических, метаморфических и терригенных образований цирконами с архейско-раннепротерозойскими возрастами в ядрах [31, 50, 69, 114]. Достаточно информативными являются результаты определения цирконов из рыхлых отложений грунтовых трубок, которые, как известно, являются основным коллектором детритных цирконов [29, 31].

Кроме того, пересчеты пластовых и граничных сейсмических скоростей, выполненные в пределах картируемой области [35, 127, 138], показывают наличие на глубинах от 8 до 11 км толщи высокоскоростных образований.

Данные о составе и особенностях пространственного распределения обломков горных пород консолидированного основания в пределах территории листа получены по результатам драгирования крутых эскарпов на поднятии Менделеева [50].

Выходы пород консолидированного основания непосредственно к поверхности дна наблюдаются в наиболее крутых уступах на склонах гор поднятия Менделеева, что хорошо видно по сейсмическим данным, а также подтверждено непосредственными наблюдениями с борта научно-исследовательской подводной лодки [20, 21].

В составе архейско-протерозойского комплекса образований предполагаются гнейсы, граниты, кварц-мусковитовые, кварц-хлоритовые сланцы, а также кварциты [114]. Мощность архейско-протерозойской толщи не установлена.

РИФЕЙ–НИЖНЯЯ ПЕРМЬ

Рифейско-нижнепермские образования (RF-P₁), по сейсмическим данным, залегают ниже отражающей границы $\Phi_{кр}$, характеризующейся граничными скоростями от 5,2 до 5,9 км/с и фрагментарно проявленной на 1–3 км ниже поверхности акустического фундамента. Эта граница интерпретируется нами как кровля преимущественно карбонатной толщи. Изредка эта граница приближается к поверхности акустического фундамента и даже выступает на поверхности морского дна, как например, на приметном эскарпе в западной части площади листов Т-1,2 (см. геологический разрез Б₁–Б₂ к карте доплиоценовых образований). Мощность рифейско-нижнепермских образований в пределах Поднятия Менделеева составляет 1–2 км. Характер изменения мощности толщи в пределах глубоководных котловин Менделеева и Чукотская не установлены. Нижняя граница толщи предполагается весьма условно. Верхняя граница сопоставляется со среднепермским перерывом в

осадконакопления (255–270 млн лет) [119], предшествующим смене преимущественно карбонатного осадконакопления в палеозое терригенным в мезозое в Восточной Арктике. Верхняя часть комплекса с преимущественно карбонатным составом вскрыта при донном пробоотборе на хр. Норд-Винд А. Гранцем [87].

В кембрийско-ордовикской части предполагаются разнообразные карбонатные породы от серых и буровато-серых тонкозернистых до крупнокристаллических, органогенных, оолитовых, доломитизированных известняков и доломитов. Возраст этой толщи обосновывается [87] преимущественно на фаунистических определениях конодонтов, обильно представленных в обломках пород и имеющих важное стратиграфическое значение для расчленения палеозоя, а также фузулинид и, в меньшей степени, фораминифер. Остатки спикул губок, криноидей и мшанок также в изобилии были найдены во многих обломках. Кроме того были отмечены кораллы, брахиоподы, гастроподы, аммоноидеи, остракоды, морские ежи, и трилобиты.

Результаты донного пробоотбора на поднятии Менделеева (экспедиция «Арктика-2012») показывают, что наряду с весьма сходным составом карбонатов, которые слагают около 50–70 % обломков, обнаружен аналогичный комплекс фаунистических остатков. В результате изучения органических макроостатков и шлифов из карбонатных пород был выявлен их возрастной спектр – от девона до средней перми.

В западной части территории листа, на горе Шамшура был произведен отбор проб драгой и грейфером на нескольких станциях. В отобранных образцах донного каменного материала преобладают карбонатные породы (77–90 % от общего числа), причем известняков намного больше, чем на остальных полигонах (23–47 % от карбонатных обломков). Еще на стадии полевых работ было отмечено среди карбонатных пород наиболее высокое содержание известняков, наиболее обильная и разнообразная фауна хорошей сохранности с возрастом от девона до ранней перми. Карбонатные породы нижней точки опробования представлены доломитизированными известняками – остракодово-водорослевыми и зернистыми. Характерны крупные дазикладациевые водоросли *Antracoporella* и ветвистые чрезвычайно мелкие кораллы рода *Fasciphyllum Schluter*. Эти кораллы наиболее широко распространены в верхах нижнего–в среднем девоне различных регионов мира, из которых ближайшее положение занимают Аляска и Полярный Урал. Наиболее близкие формы *Fasciphyllum conglomeratum* (Schluter) были найдены в живетских отложениях Пайхоя. Батиметрически выше отобраны многочисленные куски известняка с органическими остатками нижнего–среднего девона. Определены криноидеи своеобразного рода *Polyporocrinus* sp., которые известны в эмско-эйфельских отложениях Средней Азии [64], Рудного Алтая и Южного Урала. Здесь же встречены дазикладациевые водоросли *Anchicodium* sp., *Epimastopora* sp. [148]. В нижней части горы Шамшура из доломитизированных известняков ранее были установлены остатки позднесилурийских–раннедевонских конодонтов и рыб: *Ozarkodina* cf. *exavata* (Branson et Menl), *Nostolepis* ex gr. *striata* Pander [26]. Здесь же отобраны угловатые обломки биокластовых мшанково-остракодовых известняков (пакстоуны) с остатками криноидей, трилобитов предположительно нижнего–среднего карбона. В одном из образцов определены ниже-среднекаменноугольные водоросли *Koninckopora*

sp., свидетельствующие о ниже-среднекаменноугольном возрасте известняка [148]. В фораминиферо-остракодовом пакстоуне определены *Septabrussiina Lipina* (семейство Pseudoammodiscidae) фаменско-раннекаменноугольного возраста. В одном из образцов из фузулиново-водорослевого грейнстоуна определены фораминиферы башкирского яруса – *Eostaffella designata* (D. Zeller), *Eostaffella pseudoovoidea* Reitl., *Schubertella obscura mosquensis* Raus., *Ozawainella* sp. Здесь же встречены типичные для верхней части башкирского яруса и нижней части московского яруса Урала водоросли *Beresella polyramosa* Kul. [148].

Ранее в верхней части склона горы Шамшура были обнаружены обломки известняков с фауной среднекаменноугольных фораминифер [26]. Более молодые позднемосковско-раннекасимовские фораминиферы определены в шлифе криноидно-фораминиферового грейнстоуна с обрывками колоний мшанок. В составе комплекса присутствуют *Kanmeraia*(?) aff. *longdalensis* (Cassity et Langen.), *Pulchrella* cf. *pokojamiensis* (Leb.), *Schubertella gracilis* Rauser, *Climacammina moelleri timanica* Reitl., *Bradyina* cf. *samarica* Reitl., *Globivalvulina* sp. Он может быть дополнен формами того же возраста, встречаемыми в другом образце: *Nipperella nipperensis yugorskensis* Solov., *Pulchrella* cf. *pokojamiensis* (Leb.), *Ozawainella* sp., *Globivalvulina granulosa* Reitl., *Bradyina magna* Roth et Skinner, *Bradyina* cf. *samarica* Reitl., *Ammovertella vaga* Reitl., *Pseudoglomospira* sp., *Tolypammina* sp. [148]. В другом образце обнаружены фораминиферы *Schubertella* sp., *Tetrataxis* sp., а также фузулиниды рода *Pseudofusulina* или *Daixina* (верхнегжельский подъярус–нижняя пермь). Из трех обломков фораминиферо-остракодового пакстоуна с редкими криноидеями и фенестеллидами определены *Schubertella* aff. *lata* Lee et Chen, *Fusulinella* sp., *Climacammina* sp., *Textularia* sp., *Bradyina* sp. и штаффеллиды (верхний карбон–нижняя пермь) (рис. 8).

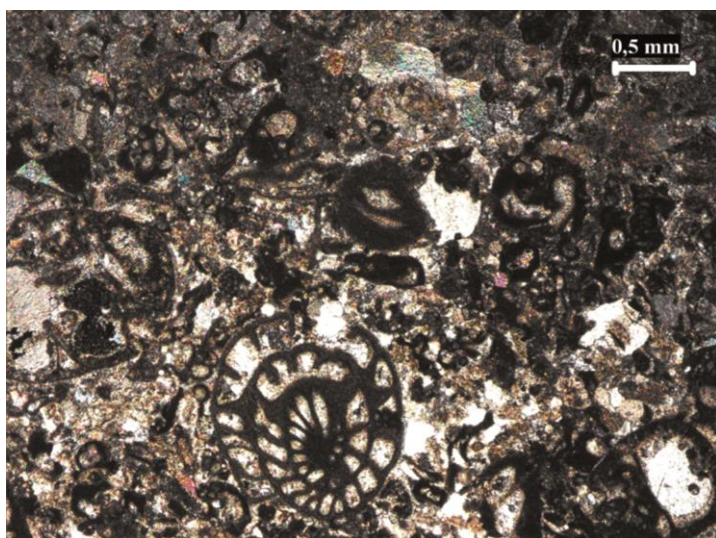


Рис. 8. Образец KD-12-01-30d-5. В шлифе отчетливо видны фораминиферы отряда *Fusulinida*.

В северной части площади листа, на горе Рогоцкого выявлены наиболее молодые – ниже-среднепермские отложения. Здесь в мшанковом пакстоуне встречены фораминиферы *Pseudonodosaria* ex gr. *ventrosa* Schleifer, известные на Шпицбергене из кунгурского яруса, а на Новой Земле – из шадровской свиты казанского яруса (определения Т. В. Филимоновой) [148]. Вблизи вершины, расположенной южнее станции, ранее были встречены раннепермские формы *Schubertella obscura* Lee et Chen, *S. compressa* Raus., *S. gracilis* Raus., *Nodosaria praceraformis* Gerke [26].

Наиболее интересные данные получены по образцам, драгированным со склонов безымянной горы в центральной части территории листа (полигон № 9 экспедиции «Арктика-2012») [50]. В донном каменном материале преобладают карбонатные породы (71–75 % от всего количества), известняков мало (17–18 % от количества карбонатных обломков). Доломит преимущественно светлый, реже темно-серый мелкокристаллический, вторичный, не дающий представления об обстановках и условиях осадконакопления. На этом полигоне чаще, чем на остальных встречаются карбонатные породы с примесью глинистого материала. Из крупного обломка известняка выделены хвостовые щиты и фрагменты торакса трилобитов, относящихся к семейству Dalmanitidae Reed, и определены конодонты: *Panderodus* sp., *Ansella* sp., *Zieglerodina?* *Remscheidensis* (рис. 9, 10). Это семейство распространено от ордовика до девона включительно и его представители известны в относительно мелководных карбонатных отложениях северо-востока России (о. Врангеля).

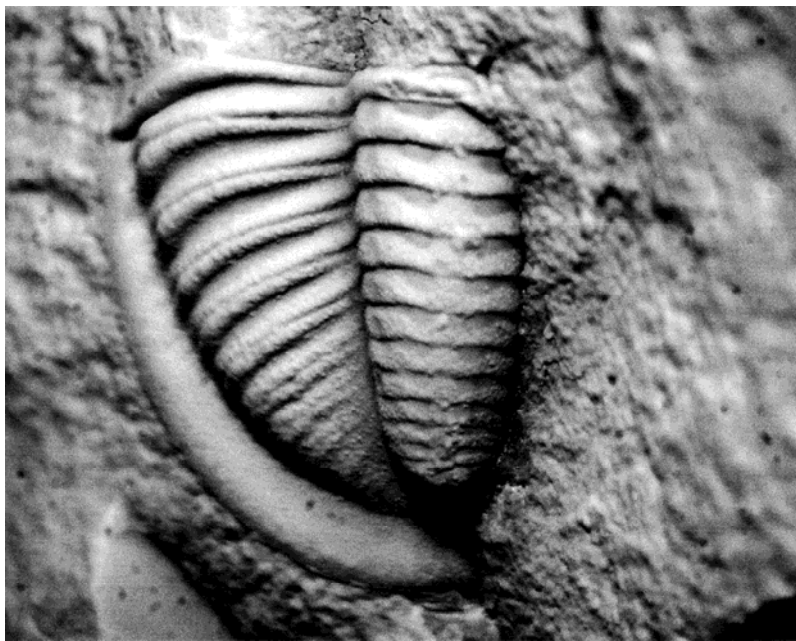


Рис. 9. Хвостовой щит трилобита из образца известняка, драгированного на склоне безымянной горы на полигоне № 9 экспедиции «Арктика-2012».

Кроме того, в этом же образце обнаружена разнообразная фауна, включающая остракоды, беззамковые брахиоподы, сколекодонты, дакриоконариды (тентакулиты) и чешую бесчелюстных рыб (рис. 11). Более точное определение требует доизучения. Предварительные определения показали, что комплекс телодонтов в палеографическом отношении сходен с фауной островов Канадской Арктики [106, 107, 123], что говорит о единстве палеобассейна района опробования с Арктической Канадой. По дакриоконаридам определен возраст – средняя часть эмского яруса, ранний девон. Конодонты, помимо определения возраста (ранний девон) по индексу изменения цвета (САИ = 0,5) показывают минимальную степень термального метаморфизма части драгированных известняков [148].

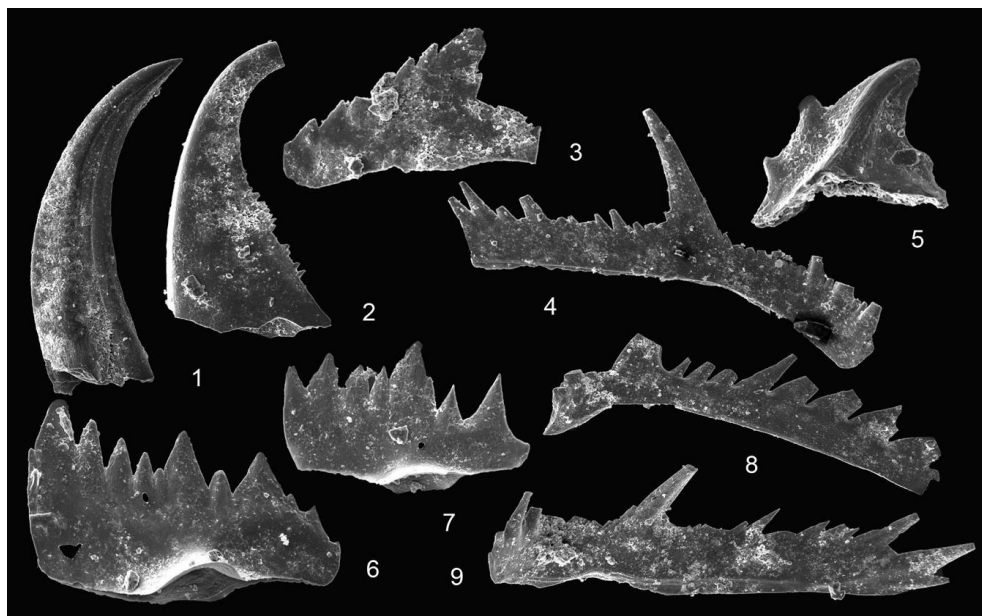


Рис. 10. Образец KD12-09-12d-85. 1 – *Panderodus* sp., 2 – *Ansella* sp., 3–9 – *Zieglerodina? Remscheidensis* (Ziegler, 1960).

ВЕРХНЯЯ ПЕРМЬ–НИЖНИЙ МЕЛ

Верхнепермско-неокомские (баррем) отложения (P_3-K_{1br}) образуют преимущественно терригенную толщу, в пределах поднятия Менделеева залегающую непосредственно под поверхностью акустического фундамента. Отложения с несогласием (перерыв) залегают на размытой кровле карбонатной толщи и имеют повсеместное распространение на картируемой площади. Мощность терригенной позднепермско-неокомской толщи в пределах поднятия Менделеева преимущественно составляет 1–2 км.

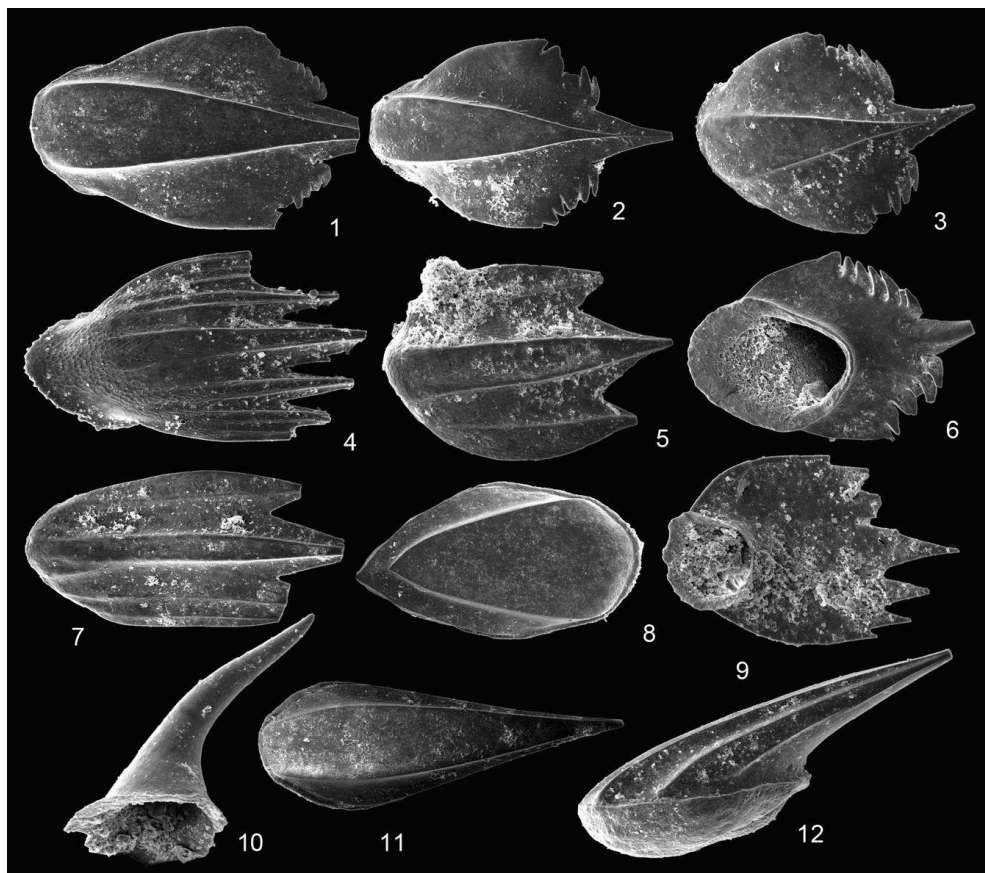


Рис. 11. Чешуя бесчелюстных рыб из образцов полигона № 9 экспедиции «Арктика-2012»: 1–3, 6 – *Nikolivia auriculata* Märss, 8, 11, 12 – *Talivalia elongata* (Karatajute-Talimaa), 2002, 4, 5, 7, 9 – *Canonina grossi* Vieth, 1980.

В центральной части поднятия Менделеева вблизи кровли сейсмокомплекса фиксируется моноклиналное залегание рефлекторов с углами падения до 10° на север. Результаты геологического пробоотбора в пределах поднятия Менделеева говорят о наличии в составе толщи песчаников, алевролитов и аргиллитов [26, 27, 28, 30]. Реже встречаются карбонатные породы.

Возможные аналоги описаны по хр. Нордвинд [87]. Здесь в составе мезозойского комплекса отложений залегают серые аргиллиты с апт-альбскими палиноморфами, верхнеюрские темно-серые лагунные и морские алевроаргиллиты с пиритом и бентосными песчаными фораминиферами (оксфордтитон по определениям Д. Вол [87]), динофлагеллятами и другими остатками водорослей. В глинистой фракции преобладает иллит с каолинитом и подчиненным содержанием вермикулита. Ниже встречены средне- и верхнетриасовые шельфовые оливково-черные и оливково-серые кварцевые аргиллиты, алевролиты с фрагментами ракуши, фораминиферами и иглами морских

ежей, а также фаунистически немые оливково-серые кварцевые песчаники, хорошо перемытые. В нижней части толщи обнаружены нижнетриасовые темно-серые твердые прочные аргиллиты и кварцевые алевролиты шельфового склона, содержащие угловатые и полуугловатые зерна кварца и немного слюды, конодонты и песчаные фораминиферы, радиолярии и палиноморфы.

МЕЛОВАЯ СИСТЕМА

НИЖНИЙ ОТДЕЛ

Аптский–альбский ярусы

Отложения аптского–альбского ярусов предполагаются в нижней части разреза осадочного разреза поднятия Менделеева и объединены нами в ССК-III. Они несогласно залегают на образованиях акустического фундамента и имеют в подошве несогласную границу ОГ Φ_a в кровле ОГ B_1 .

В составе комплекса предполагаются образования, сходные с отложениями балыктахской свиты на о. Котельный [40, 101], а также с нижней частью осадочного выполнения грабен на Лаптевоморской континентальной окраине [10]. В разрезе ожидаются глины, алевролиты и алевролиты, пески и песчаники с прослоями и линзами конгломератов. Возможно наличие пластов каменного угля. Мощность апт-альбского ССК в пределах картируемой области варьирует в широких пределах, выклиниваясь на поднятиях фундамента и достигая своего максимума (более 1000 м) в центральной и юго-западной частях листа.

ВЕРХНИЙ ОТДЕЛ

В пределах картируемой области отложения верхнего мела (sK_2) объединены в ССК-II₂, который распространен повсеместно на поднятии Менделеева, в Чукотской котловине и в прогибе Вилькицкого. Он утоняется и иногда отсутствует в пределах горстов на поднятии Менделеева; в подошве он ограничен ОГ B_1 , в кровле – ОГ В. Мощность комплекса закономерно уменьшается от котловин и прогибов в сторону поднятия Менделеева. Максимальных значений (до 2000 м) мощность верхнемеловых отложений достигает у подножия КС в юго-западном углу площади листа. Отложения данного сейсмокомплекса несогласно залегают на образованиях апта–альба или на акустическом фундаменте, ограничиваясь в этом случае сейсмической границей ОГ Φ_a .

В составе разреза верхнемеловых отложений предполагаются образования, аналогичные отложениям Бунговской и Деревянногорской свит [16]. По составу это, предположительно, аргиллитоподобные глины и алевролиты с прослоями песков и галечников, изредка песчаников и бурых углей. Пластовые скорости отложений, слагающих данный сейсмокомплекс: – 3,2–4,5 км/с.

Аптский–кампанский ярусы

В пределах поднятия Менделеева широко распространены вулканогенно-осадочные и эффузивные породы ($\beta K_1\alpha-K_2km$) высоко-

широтной арктической крупной магматической провинции (HALIP) [83, 112, 124], аналогичные коррелятным образованиям поднятия Де-Лонга [72]. Об этом свидетельствуют высокие пластовые скорости (до 4,5 км/с) в нижней части этой толщи и характерная для вулканогенных и вулканогенно-осадочных формаций сейсмическая запись. Волновая картина, характерная для вулканогенных образований, часто оказывается весьма близкой к волновой картине акустического фундамента, что затрудняет их разделение. Пересчеты кромок магнитоактивных тел, по имеющимся магнитометрическим данным, по своим глубинам в основной массе попадают в состав данного сейсмокомплекса.

Имеющиеся сейсмические и гравимагнитные данные дают основание предполагать, что аптские–кампанские вулканиды на поднятии Менделеева не имеют сплошного развития. В пределах территории листа они залегают в виде автономных щитовых вулканических образований, обычно соответствующих платообразным горам в осевой части поднятия Менделеева. Вулканические постройки нарушены дизъюнктивными и эрозионными процессами и перекрыты осадочным чехлом значительной мощности. Иногда они прорваны интрузивно-вулканогенными образованиями миоцена.

На склоне плато Т-3 в 2012 г. была пробурена скважина, в которой были вскрыты трахиандезиты и трахибазальты. По данным U-Pb анализов захваченных цирконов, они имеют позднепермский возраст (260 млн лет) [50]. Однако полученные позднее $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировки, как по образцам из скважины на склоне плато Т-3, так и по другим районам поднятия Менделеева, хр. Альфа и Чукотского поднятия свидетельствуют о трех эпизодах магматической активности в пределах всего региона: 112 млн лет (альб), 100 млн лет (альб–сеноман) и 85–73 млн лет (кампан) [110]. По соотношениям La–Y–Nb базальтоиды плато Т-3 располагаются главным образом в поле континентальных базальтоидов, частично попадая также в поле известково-щелочных базальтоидов и базальтоидов внутриконтинентальных рифтов [31, 50, 114]. Кроме того, можно отметить, что базальтоиды Поднятия Менделеева близки к соответствующим породам Земли Франца-Иосифа, но достаточно далеко отстоят от базитов хр. Гаккеля, которые расположены в поле пород Е-типа MORB.

Севернее, в пределах листов U-57–60 вулканиды этого возраста пробурены на горе Трукшина [50, 114], где они представлены нормальнощелочными базальтами и трахиандезитами и андезибазальтами. На диаграмме $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$ выявляется сходство как по кремнекислотности, так и по уровню общей щелочности трахибазальтов поднятия Менделеева с базальтами северной оконечности хр. Нортвинд, а также с покровами трахибазальтов арх. Де-Лонга.

ПАЛЕОГЕНОВАЯ СИСТЕМА

ПАЛЕОЦЕН–ЭОЦЕН

Отложения палеоцена–эоцена ($^{\text{P}}_{1-2}$) в пределах картируемой области объединены в ССК – П₁. В подошве он ограничен ОГ В, в кровле

опорным ОГ А. На большей площади картируемого листа эти отложения согласно залегают на верхнемеловых образованиях. В пределах поднятия Менделеева отложения палеоцен-эоценового сейсмокомплекса несогласно залегают на более древних образованиях.

Вместе с подстилающими породами палеоцен-эоценовые отложения слагают толщу выполнения понижений рельефа акустического фундамента. Большинство разрывных нарушений, затрагивающих породы фундамента и нижнюю часть чехла, заканчиваются вблизи кровли палеоцен-эоценового сейсмокомплекса. Мощность толщи в пределах листа достаточно выдержана и составляет 300–600 м, слегка увеличиваясь к подножью континентального склона (около 1000 м) и несколько уменьшаясь на поднятии Менделеева. Пластовые скорости отложений составляют 2,8–3,2 км/с [127].

Информация о составе отложений этого возрастного диапазона может быть экстраполирована из смежных на юге площадей. В целом этот период на материковом обрамлении выделяется как время тектонического покоя и пенепленизации. На Новосибирских островах образованиям данного возрастного диапазона соответствует палеоценовая кора выветривания [16]. В пределах материкового обрамления Восточно-Сибирского шельфа эти отложения представлены тонко переслаивающимися глинами, алевролитами и алевролитистыми песками. Стабильная волновая картина этого ССК на большой площади позволяет предполагать сходный состав отложений вплоть до подножья континентального склона. Учитывая также данные глубоководного бурения на хр. Ломоносова [78] и, кроме того, данные по пластовым скоростям [127], можно предположить в составе этого ССК уплотненные пески и слаболитифицированные песчаники и аргиллиты, содержащие агглютинированные фораминиферы, динофлагелляты, а также споры и пыльцу в нижней части и кремнистые илы со значительным содержанием биокремнезема в верхней [77].

Единственным местом, где отложения палеоцен-эоцена были изучены, находится в пределах одного из самых контрастных обрывистых склонов, пересекаемых линией сейсмического профиля ARC-1201 (листы Т-1,2, расположенные к югу). Этот район был обследован в 2014 г. с борта научно-исследовательской подводной лодки. Манипулятором подводной лодки были отобраны образцы пород непосредственно из обнажений на склоне подводной горы. В коллекции присутствуют два образца известняка: отобранный из обнажения с глубины 1282 м и скатившийся вниз по склону с глубины 1488 м. Оба образца пелитоморфной структуры, образованы тонкозернистым кальцитом. В породе 15–20 % обломочных зерен, в основном кварца. Из образцов выделены раковины бентосных и планктонных фораминифер, а также остракоды. Из фораминифер определены *Eoglobigerina varianta* Subbotina, *E. compressa* Plummer, *E. trivialis* Subbotina, *Discorbis* sp., *Eponides ornata* (D'Orb), *Eponides* sp., *Dentalina insulsa* Cushman, *Oridorsalis umbonatus* (Reuss), *Quinqueloculina* sp., *Triloculina* sp., *Rhezakina* sp. (определения М. А. Устиновой, ГИН РАН) [70а; 147]. Кроме того, Е. М. Тесаковой (МГУ) определены остракоды *Trachyleberis aculeata* (Bosquet, 1852), *Aulocytheridea criptopustulata* Scheremeta, 1966. Комплекс фораминифер, предположительно, сопоставляется с датским ярусом палеоцена, остракоды – также с нижним палеоценом.

ОЛИГОЦЕН

Отложения олигоцена (oP_3) в пределах картируемой области входят в состав ССК-1₂, ограниченного в подошве отражающим горизонтом ОГ А(LU). Мощности этого комплекса осадков изменяются в пределах от 500 до 1100 м, плавно уменьшаясь на поднятиях и закономерно увеличиваясь в центральной части Чукотской котловины. Отложения этого возрастного диапазона повсеместно распространены в пределах картируемой области. На большей площади района отложения этого возраста залегают в ненарушенном состоянии, согласно с подстилающими образованиями облекая неровности подстилающего рельефа. Исключение составляет район долины Чарли и западного склона Чукотского плато, где неотектоническими нарушениями затронут весь осадочный чехол.

Пластовые скорости осадочных образований, входящих в состав этого комплекса, определенные по результатам МОВ [138] и ГСЗ [127], – 2,0–2,5 км/с, что может свидетельствовать о присутствии в разрезе слаболитифицированных отложений. Судя по данным глубоководного бурения [78], отложения представлены морскими и прибрежно-морскими плотными глинистыми образованиями серого, темно-серого цветов. В них могут быть распространены небольшие пиритовые конкреции и кремнистые микрофоссилии.

НЕОГЕНОВАЯ СИСТЕМА

МИОЦЕН

Отложения миоцена (oN_1) в пределах картируемой области объединены в состав ССК-1₁, который ограничен в кровле поверхностью морского дна, в подошве ОГ D₁. Отложения повсеместно распространены в пределах картируемой области и согласно залегают на отложениях эоцена–олигоцена и миоцена. Для данной толщи отложений характерны мощности от 10 м на поднятиях гребневой зоны поднятия Менделеева и на хр. Альфа до 100 м и более. На большей части площади листов отложения этого возраста залегают в ненарушенном состоянии, спокойно облекая неровности подстилающего рельефа.

Геолого-геофизических данных о строении плиоценовых и четвертичных отложений недостаточно для детального расчленения этой части разреза.

Пластовые скорости осадочных образований, входящих в состав этого комплекса, обычно не превышают 1,6–1,7 км/с [100, 141, 134]. Эти данные в совокупности с результатами глубоководного бурения за пределами картируемой области [109], а также данных пробоотбора непосредственно в районе исследований свидетельствуют о наличии в разрезе нефелоидных и декливиальных алевропелитов серого и/или коричневого цветов.

Наряду с осадочными породами в разрезе миоценового комплекса предполагаются вулканогенно-осадочные и эффузивные породы (${}^o\beta N_1$), аналогичные коррелятным образованиям о. Жохова [70, 72]. Об этом свидетельствует характерная для вулканогенных и вулканогенно-осадочных формаций интрузивно-протрузивного типа сейсмическая запись. Миоцено-

вые вулканогенные образования прочитываются на сейсмических профилях в виде штоков и протрузий, часто деформируя, воздымая вышележащие толщи осадков, в результате чего они выражены в рельефе морского дна. Пересчеты кромок магнитоактивных тел, по имеющимся магнитометрическим данным, по своим глубинам иногда соответствуют идентифицированным по сейсмическим данным штокам.

НЕОГЕНОВАЯ–ЧЕТВЕРТИЧНАЯ СИСТЕМЫ

НИЖНИЙ МИОЦЕН–КВАРТЕР

Отложения миоцена–квартера в пределах картируемой области объединены в состав ССК-I₁, который ограничен в кровле поверхностью морского дна, в подошве – ОГ D₁. Отложения повсеместно распространены в пределах картируемой области и согласно залегают на отложениях эоцена–олигоцена и миоцена. Для данной толщи отложений характерны мощности от 10 м на поднятиях гребневой зоны хребта до 100 м и более в южной части площади листов. На большей площади изучаемого района отложения этого возраста залегают в ненарушенном состоянии, спокойно облекая неровности подстилающего рельефа. Нижняя граница квартера принята на уровне 2,6 млн лет назад [62а].

Геолого-геофизических данных о строении плиоценовых и четвертичных отложений недостаточно для детального расчленения этой части разреза.

Пластовые скорости осадочных образований, входящих в состав этого комплекса, обычно не превышают 1,6–1,7 км/с [100, 134, 141]. Эти данные в совокупности с результатами глубоководного бурения за пределами картируемой области [109], а также данных пробоотбора непосредственно в районе исследований свидетельствуют о наличии в разрезе нефелоидных и декливиальных алевропелитов серого и/или коричневого цветов.

ПЛИОЦЕН–ГОЛОЦЕН

Плиоцен-четвертичные отложения залегают на нижележащих доплиоценовых образованиях и формируют почти сплошной плащ осадков на всей площади листов U-1,2. Исключение составляют крутые склоны северо-западного простирания, заложенные по неотектоническим нарушениям. Отсутствие рыхлого чехла на поверхности этих склонов подтверждено с помощью профилографа, а также непосредственными наблюдениями с исследовательской подводной лодки [20, 21, 50, 75]. Часто в эскарпах крутых склонов обнажаются коренные породы фундамента.

В настоящее время имеются две точки зрения на оценку скоростей накопления плиоцен-четвертичных осадков в пределах поднятия Менделеева. По так называемой «древней» модели скорости составляют миллиметры в год [2, 22, 81, 93, 113], хотя, согласно «молодой» модели, они могут достигать

сантиметры в год [39, 76, 115, 116]. По нашим оценкам с применением метода избыточного ^{230}Th для колонок AF-00-07, AF-00-02 (табл. 1, 2) и AF-0731, находящихся в разных частях поднятия Менделеева, полученные датировки свидетельствуют о низких скоростях осадконакопления на поднятии Менделеева в течение последних 300 тыс. лет [18, 19]. Значения в диапазоне 0,11–0,437 см в 1 тыс. лет близки к скоростям осадконакопления, полученным по другим колонкам поднятия Менделеева: ~0,15 см в 1 тыс. лет по методу избыточного ^{230}Th и ^{231}Pa [111] и ~0,27 см в 1 тыс. лет по ^{10}Be [118]. Таким образом, нами выбрана «древняя» модель расчленения плиоцен-четвертичного осадочного чехла поднятия Менделеева. Далее приводятся результаты изучения колонок AF-00-07 и AF-00-02, которые мы выбрали в качестве опорных для листов U-1,2.

Результаты микрофаунистического анализа свидетельствуют о накоплении верхних 20–50 см в колонках поднятия Менделеева в течение позднего неоплейстоцена–голоцена. В верхней части разрезов колонок пики повышенного содержания бентосных и планктонных фораминифер в осадках совпадают (верхние 5 пиков). Ниже по разрезам колонок такое совпадение проявлено слабее или вообще отсутствует.

По разрезам северных колонок на поднятии Менделеева четко выделяются три ассоциации фораминифер [2]: верхняя, со значительной ролью видов атлантического происхождения, среди которых наиболее распространены *Fontbotia wuellerstorffi*, *Oridorsalis tener*, некоторые милиолиды (*Miliolinella* spp.), *Parafissurina groenlandica*, *Bulimina marginata*. Ниже по разрезам колонок выделяется вторая, смешанная ассоциация фораминифер: помимо известковых атлантических видов, численность которых резко снижается (в теплые стадии сохраняется обилие *Fontbotia wuellerstorffi*), появляются агглютинирующие (песчаные), прежде всего космополитный вид *Cyclammina pusilla*, неизвестный в современных осадках Северного Ледовитого океана. Численность планктонных фораминифер заметно снижена. Самая древняя ассоциация, вскрытая в основании колонок, представлена практически одними агглютинирующими фораминиферами с преобладанием цикламмин: *Cyclammina pusilla* и *C. rutundidorsata*, встречены *Pseudosiphonella* sp., *Haplophragmoides subglobosum* и другие виды. Ассоциация фораминифер впервые была описана на хр. Альфа О'Нейлом [113] и по палеомагнитным данным [81] была отнесена к плиоцену.

При составлении карты плиоцен-четвертичных образований расчленение разреза на комплексы производилось с учетом возможности отображения картируемых подразделений в масштабе 1 : 1 000 000. Картирование плиоцен-четвертичных отложений проводилось на геоморфологической основе, с показом фаций различных типов глубоководных отложений. Поэтому на карте плиоцен-четвертичных образований выделяются нерасчлененные комплексы с широким возрастным диапазоном. Предполагаемая полная мощность плиоцен-четвертичного чехла в пределах листов оценивается в 40–60 м. Максимальная мощность приурочена к впадине Менделеева, а также к подножиям склонов подводных гор в межгорных понижениях на поднятии Менделеева и хр. Альфа.

Результаты радиохимического анализа колонки АФ-00-07

Интервал, см	^{238}U р/мин на г	^{234}U р/мин на г	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	^{230}Th р/мин на г	^{232}Th р/мин на г	^{230}Th изб.	Возраст (Т), тыс. лет	Fe+Mn, %	$^{230}\text{Th}^*$ изб.	Возраст* (Т), тыс. лет
5–8	1,54 ± 0,06	1,44 ± 0,06	0,93 ± 0,05	11,73 ± 0,35	2,00 ± 0,14	10,29 ± 0,36	41,1±1,3	4,4	233,86 ± 8,18	42,5±1,1
8–14	1,03 ± 0,06	1,00 ± 0,06	0,97 ± 0,08	10,83 ± 0,20	2,15 ± 0,09	9,83 ± 0,21	69,6 ± 2,2	4,67	210,49 ± 4,50	71,9 ± 1,9
14–21	1,53 ± 0,04	1,30 ± 0,03	0,85 ± 0,03	3,03 ± 0,10	1,60 ± 0,07	1,73 ± 0,10	110,8 ± 3,5	4,53	38,19 ± 2,21	114,4 ± 3,0
30–38	1,19 ± 0,05	1,01 ± 0,04	0,85 ± 0,05	2,09 ± 0,07	1,85 ± 0,09	1,08 ± 0,08	215,2 ± 6,8	4,62	23,38 ± 1,73	222,2 ± 5,8
48–57	1,14 ± 0,04	0,98 ± 0,04	0,86 ± 0,05	1,68 ± 0,03	2,01 ± 0,03	0,70 ± 0,05	332,3 ± 10,52	4,76	14,71 ± 1,05	343,1 ± 9,0
86–89	0,98 ± 0,05	0,87 ± 0,05	0,88 ± 0,07	4,74 ± 0,09	1,83 ± 0,06	3,87 ± 0,10		3,86	100,26 ± 2,59	
106–117	1,20 ± 0,05	1,03 ± 0,04	0,86 ± 0,05	1,80 ± 0,05	1,94 ± 0,05	0,77 ± 0,06		3,83	20,10 ± 1,57	
160–165	1,03 ± 0,03	0,93 ± 0,03	0,90 ± 0,04	1,81 ± 0,07	1,79 ± 0,07	0,88 ± 0,08		4,79	18,37 ± 1,67	
202–205	0,69 ± 0,03	0,66 ± 0,02	0,95 ± 0,05	1,93 ± 0,08	1,57 ± 0,07	1,27 ± 0,08		4,69	27,08 ± 1,71	
235–245	0,99 ± 0,04	0,86 ± 0,04	0,87 ± 0,05	3,00 ± 0,13	2,32 ± 0,11	2,14 ± 0,14		4,99	42,89 ± 2,81	

Примечание. $^{230}\text{Th}^*$ изб. – нормализованный на Fe+Mn; возраст* рассчитан из $^{230}\text{Th}^*$ изб.

Результаты радиохимического анализа колонки AF-00-02

Интервал, см	^{238}U р/мин на г	^{234}U р/мин на г	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	^{230}Th р/мин на г	^{232}Th р/мин на г	^{230}Th изб.	Возраст (Т), тыс. лет
0–3	$0,86 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,03$	$0,72 \pm 0,02$	$18,42 \pm 0,18$	$1,85 \pm 0,05$	$17,80 \pm 0,18$	$13,9 \pm 0,4$
3–10	$2,03 \pm 0,06$	$1,20 \pm 0,05$	$0,59 \pm 0,02$	$23,57 \pm 0,29$	$2,25 \pm 0,08$	$22,37 \pm 0,29$	$60,2 \pm 1,7$
12–17	$1,16 \pm 0,05$	$0,61 \pm 0,03$	$0,53 \pm 0,02$	$10,30 \pm 0,17$	$2,35 \pm 0,07$	$9,69 \pm 0,17$	$134,3 \pm 3,7$
27–34	$1,20 \pm 0,05$	$0,96 \pm 0,05$	$0,80 \pm 0,03$	$4,03 \pm 0,09$	$2,23 \pm 0,07$	$3,07 \pm 0,10$	$282,4 \pm 7,8$
34–44	$1,61 \pm 0,07$	$1,40 \pm 0,06$	$0,87 \pm 0,03$	$2,81 \pm 0,10$	$2,22 \pm 0,09$	$1,41 \pm 0,12$	$361,1 \pm 10,0$
53–63	$1,44 \pm 0,06$	$1,18 \pm 0,04$	$0,82 \pm 0,02$	$1,23 \pm 0,04$	$2,27 \pm 0,06$	$0,05 \pm 0,06$	
85–95	$1,01 \pm 0,05$	$0,86 \pm 0,04$	$0,85 \pm 0,03$	$1,18 \pm 0,04$	$2,48 \pm 0,06$	$0,32 \pm 0,06$	

Примечание. Для возрастных расчетов использовались только прямые (ненормализованные) значения ^{230}Th изб., так как не во всех проанализированных слоях был определен химический состав.

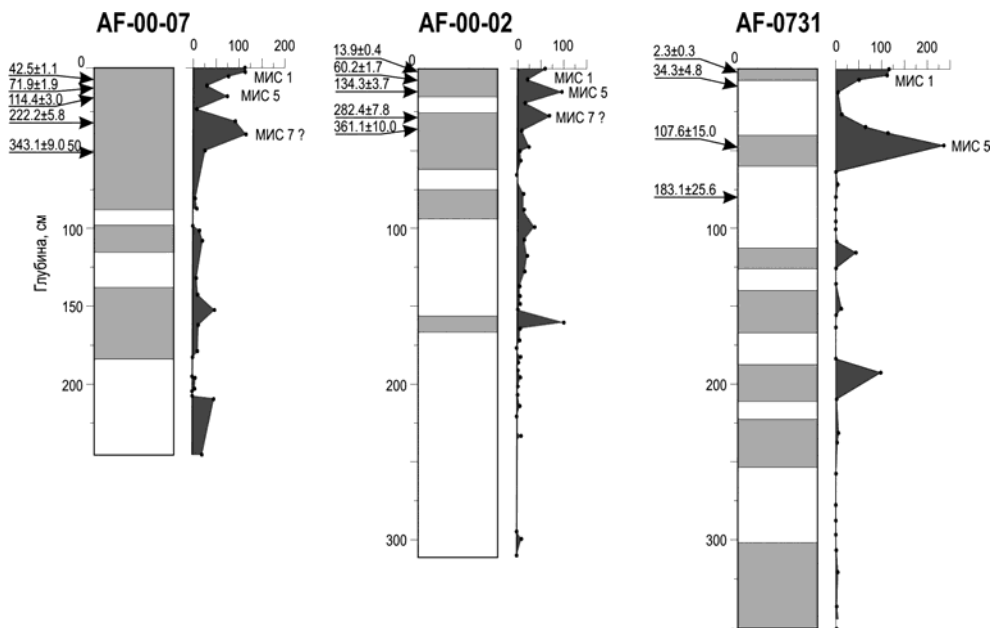


Рис. 12. Корреляция разрезов колонок поднятия Менделеева. Серым цветом отмечены интервалы осадка коричневого цвета. Слева от колонок стрелками показаны значения возраста по ^{230}Th изб. в тыс. лет. Справа от колонок приведены графики содержания бен-тосных фораминифер в экз./г. Точками отмечены места взятия проб.

Для картирования важными являются возрастные границы, которые могут быть легко идентифицированы в колонках донных осадков. Обычно на пиках биопродуктивности легко определяется пятая морская изотопная стадия (МИС 5) (рис. 12), кроме того, иногда удаётся идентифицировать МИС 11. Поэтому картируются плиоцен-нижнеплейстоценовые осадки и средненеоплейстоцен-голоценовые. Кроме того, часть геоморфологических элементов, имеющих наиболее свежий облик, определяется нами как формы, образовавшиеся в МИС 1–МИС 2. К таким относятся глубоководные каньоны и долины на склонах гор поднятия Менделеева и на континентальном склоне, которые заполнены потоковыми турбидитовыми осадками, а также конусы выноса в местах выхода каньонов к подножиям склонов, где формируются дельтовые фации турбидитов.

Предположительный литологический состав всех указанных ниже подразделений устанавливается на основании комплексного анализа данных литологии поверхностных осадков и осадков, вскрытых грунтовыми трубками, а также на геоморфологических данных с учетом закономерностей распределения гранулометрических типов глубоководных отложений в различных морфоструктурах.

В составе чехла плиоценовых и четвертичных образований на исследуемой площади, предположительно, выделяются семь подразделений:

1) морские нефелоидные отложения плиоцена–нижнего неоплейстоцена (mnN_2-l);

2) морские декливиальные отложения плиоцена–нижнего неоплейстоцена (mdN_2-l);

3) морские декливиальные отложения плиоцена–голоцена нерасчлененные обвально-осыпные сейсмогенные фации ($md_{os}N_2-H$);

4) морские нефелоидные отложения плиоцена–голоцена нерасчлененные пелагические фации (mn_pN_2-H);

5) морские декливиальные отложения среднего неоплейстоцена–голоцена ($mdll-H$);

6) морские нефелоидные отложения среднего звена неоплейстоцена–голоцена ($mnll-H$);

7) морские турбидитные отложения четвертой ступени верхнего неоплейстоцена–голоцена потоковые фации (mt_plll_4-H);

8) морские турбидитные отложения четвертой ступени верхнего неоплейстоцена–голоцена дельтовые фации (mt_dlll_4-H).

Морские нефелоидные отложения плиоцена–нижнего неоплейстоцена (mnN_2-l) формируют покровно-облекающие плащеобразные формы, которые перекрывают нижележащие доплиоценовые образования. Предположительно, они развиты на равнинных участках поднятия Менделеева и хр. Альфа. По данным грунтового опробования предполагается достаточно однородный литологический состав, преимущественно представленный пелитами. Мощность пачки – 5–30 м.

Морские декливиальные отложения плиоцена–нижнего неоплейстоцена (mdN_2-l) условно выделены на склоновых участках поднятия Менделеева и хр. Альфа. Они перекрываются толщей декливиальных отложений среднего неоплейстоцена–голоцена. Предполагается доста-

точно однородный литологический состав, представленный в основном алевропелитами и пелитами с песчанистым материалом. Мощность пачки варьирует в среднем от 5 до 30 м.

Морские декливиальные отложения плиоцена–голоцена нерасчлененные обвальное-осыпные сейсмогенные фации ($md_{os}N_2-H$) выделены в северной части площади листов U-1,2 в пределах северного окончания Поднятия Менделеева и прилегающей части хр. Альфа. Сейсмогенные обвальное-осыпные декливиальные отложения слагают крутые склоны гор Рогоцкого и Шамшура, окружая выходы на поверхность коренных пород. Предполагается преимущественно алевропелитовый состав с гравийно-песчанистой примесью. Полная мощность составляет от 5 до 20 м.

Морские нефелоидные отложения плиоцена–голоцена нерасчлененные пелагические фации (mn_pN_2-H) выделены по аналогии с соседними листами в пределах абиссальной равнины Менделеева. На поверхность морского дна эта толща выходит в виде обширного поля на глубинах от 3200 до 3300 м в восточной части площади листов. Предполагается достаточно однородный литологический состав, представленный бигранулярными осадками переходного типа, предположительно, алевропелитами и пелитами. Ожидаемая мощность – от 5 до 50 м.

Морские декливиальные отложения среднего неоплейстоцена–голоцена ($md_{ll}H$) выходят на поверхность морского дна на склонах поднятий и террас, залегая на морских декливиальных отложениях плиоцена–нижнего неоплейстоцена. Предполагается преимущественно алевропелитовый состав с песчанистой примесью. Полная мощность – от 1 до 3 м.

Морские нефелоидные отложения среднего звена неоплейстоцена–голоцена ($mn_{ll}H$) залегают на морских нефелоидных отложениях плиоцена–нижнего неоплейстоцена на глубинах от 1500 до 2800 м. Развита на равнинных участках поднятия Менделеева (плато Почтарева, межгорные понижения поднятия Менделеева и хр. Альфа). По данным грунтового опробования, осадки представлены алевропелитами и пелитами. Мощность отложений варьирует в диапазоне от 1 до 2 м.

Морские турбидитные отложения четвертой ступени верхнего неоплейстоцена–голоцена потоковые фации (mt_pIII_4-H) распространены на восточном и внутренних локальных склонах поднятия Менделеева и хр. Альфа. Предполагается алевропелитовый состав. Мощность – от 1 до 5 м.

Морские турбидитные отложения четвертой ступени верхнего неоплейстоцена–голоцена дельтовые фации (mt_dIII_4-H) формируют обширные конусы выноса у подножия склонов, окружающих абиссальную равнину Менделеева, и на плато Почтарева. Предполагается алевропелитовый и пелитовый состав отложений. Мощность – от 1 до 5 м.

ЛИТОЛОГИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Исходные данные и принцип построения карты

Современные донные отложения акватории листа U-1,2 изучены грунтовым опробованием в малой степени и крайне неравномерно. Объем аналитических данных незначителен. Кроме того, за годы работы происходили некоторые изменения как в методике пробоотбора, так и в детальности последующей лабораторной обработки, что в какой-то мере затрудняет обобщение имеющихся данных. Поэтому о литологических типах осадков большей части рассматриваемой акватории можно делать лишь предположительные выводы, основываясь на общих закономерностях седиментогенеза в полярной области и особенностях условий накопления и постседиментационных преобразований осадков в условиях арктических хребтов и глубоководных впадин.

В основу литологической карты положены данные грунтового пробоотбора, полученные в разные годы с дрейфующих станций северный полюс (СП) и высокоширотных экспедиций. Использованы материалы по 18 грунтовым станциям СП, в том числе 7 станций отобраны с СП-8, СП-12, СП-16 СП-20 (с 1960 по 1970 год), участие геологов в этих работах не предусматривалось, отбор образцов донных отложений проводился только при промерных и океанологических наблюдениях, описание колонок не проводилось. Отбор донных проб осуществлялся небольшими грунтовыми трубками, длина которых не превышала 1 м, а диаметр 40 мм. С СП-26 (11 проб) были отобраны геологическим отрядом при помощи грунтовых прямоточных трубок ПГТ-2,5 диаметром 89 мм. Гранулометрический анализ проводился с разделением на 5 или 7 фракций [126, 146].

Использованы данные полевых работ, проводимых с борта НЭС «Академик Фёдоров» в 2000 г. Пробоотбор проводился грунтовыми трубками и грейфером, кроме того проводилось драгирование крутых склонов. Гранулометрический анализ проб, отобранных грунтовой трубкой и грейфером, проводился водно-ситовым способом по методике Петелина с разделением на 13 фракций. Данные драгирования учтены при анализе распределения крупномерного донно-каменного материала (ДКМ).

Использованы данные полевых работ, проводимых с борта ДЛ «Капитан Драницын» в 2012 г. В пределах площади листа пробоотбор велся на 6 полигонах: 01, 02, 05, 06, 08, 09. Поскольку основной задачей рейса был сбор и изучение крупномерного ДКМ, все эти полигоны расположены в пределах очень крутых склонов. Пробоотбор проводился грунтовой трубкой, грейфе-

ром и драгой. Гранулометрический анализ проб, отобранных грунтовой трубкой и грейфером, проводился водно-ситовым способом по методике Петелина с разделением на 13 фракций. Данные драгирования учтены при анализе распределения крупномерного ДКМ.

При изучении закономерностей распределения крупномерного ДКМ использованы данные фотофиксации, полученные с американской дрейфующей станции Т-3.

Учтены также опубликованные данные опробования высокоширотного рейса «Polarstern-2008», но их использование затруднено в связи с тем, что при обработке этих данных исследователи пользовались другой классификационной шкалой.

Предполагаемые границы распределения осадков разных гранулометрических и генетических типов проведены на основании небольшого количества фактических данных с учетом рельефа и морфологии дна, направления поверхностных и глубинных течений. Рассмотрены и учтены факторы, влияющие на распределение частиц различной гранулометрической размерности, а также механизмы возможного переотложения осадков.

Ввиду того, что пробоотбор и обработка в разные годы проводились по разным методикам, прямое сопоставление фактических данных не всегда корректно, поэтому при составлении карты в значительной степени использовались геоморфологические признаки и общие закономерности распределения осадочного материала.

Гранулометрический состав рыхлых осадков

Основная часть фактического материала, использованного при построении карты – результаты анализов станций грунтового опробования, выполненные с дрейфующих станций СП (табл. 3). К сожалению, в разные годы анализы проводились по разным методикам и разделение проводилось либо на 5, либо на 7 фракций, что затрудняет интерпретацию седиментационных режимов, поэтому они были объединены в 4 фракции – гравий (>1 мм), песок (1–0,1 мм), алеврит (0,1–0,01 мм), пелит (<0,01 мм), по классификации П. Л. Безрукова и А. П. Лисицина.

Наибольшее количество пелитового материала отмечается на станциях, отобранных в экспедиции СП-26, причем изучение распределения пелитовой фракции из образцов, отобранных со всех СП, почти не коррелируется ни с рельефом, ни с морфологией, поэтому мы предполагаем, что такое различие связано скорее с различными методиками выполнения анализов с разной погрешностью.

На крутых склонах подводных гор (полигоны опробования рейса «Арктика-2012») отмечается повышенное содержание гравийной, песчаной и алевритовой фракций (табл. 4), теоретически это может свидетельствовать о том, что кроме эолово-водного механизма поставки и ледового разноса, активно присутствуют гравитационно-оползневые процессы. В пределах опробованных полигонов драгированием также поднято значительное количество обломков галечной и валунной размерности [50].

Таблица 3

Гранулометрические характеристики донных осадков, отобранных в северной части поднятия Менделеева

Номер СП, год	Номер станции	Глубина, м	Интервал, см	Гравий	Песок	Алеврит	Пелит
«СП-8» 1960–1961	3	1683	0–1		4,7	29,5	65,8
	4	2207	0–1		8,9	26,9	62,3
	5	2816	0–2	0,3	12,2	19,4	68,4
«СП-12» 1963–1964	9	3272	0–2		2,4	21,8	75,8
«СП-16», 1969–1970	3	2651	0–2	1,0	17,7	22,5	59,8
	4		0–4	5,8	2,1	19,1	78,8
	8	2681	0–5		0,9	21,1	78,0
«СП-26», 1982–1984	52	2258	2–4	0,6	3,7	10,9	83,9
	54	1955	2–3		6,0	11,9	81,1
	55	1900	1–2		7,5	18,1	74,2
	57	2093	2–6	0,3	4,5	12,3	82,8
	58	2345	2–7		3,2	17,6	86,8
	60	2230	0–6	0,8	5,6	12,4	80,8
	61	2440	2–5	0,6	7,0	12,2	79,3
	62	2400	2–4	1,6	7,3	14,6	76,2
	63	2550	3–5		7,0	12,9	79,2
	72	2860	0–2	1,0	4,9	9,7	83,5
73	2760	2–4	1,7	4,7	11,2	82,0	

Таблица 4

Содержание крупных фракций в пробах из драг и грунтовых трубок, отобранных в северной части поднятия Менделеева

Номер станции	Интервал, см	Гравий	Песок	Алеврит	Пелит
KD-12-09-11g	0–3	0,1	4,6	25,4	69,6
KD-12-01-14g	0–3	10,7	9,2	26,9	52,9
KD-12-01-16g	0–3	16,9	11,0	41,7	30,0
KD-12-05-24g	0–3	0,9	5,1	26,6	67,3
KD-12-08-28g	0–3	9,1	5,9	26,0	58,9
KD-12-00-08C	4–8	9,0	5,4	14,5	71,0
KD-12-01-15C	0–2	15,2	1,8	21,7	61,2
KD-12-08-27C	0–2,5	1,2	4,2	31,5	62,8
KD-12-05-23C	0–2	0,2	6,0	32,5	61,3
KD-12-06-19C	0–2	0,0	1,0	27,2	71,5

Области полярного седиментогенеза в целом свойственны преобладание хорошо сортированных осадков, относительно невысокие скорости осадконакопления и замедленность химических и биологических процессов. Преобладание в областях питания процессов физического выветривания и вызванная неблагоприятными для развития фито- и зоопланктона круглогодичным ледяным покровом и полярной ночью пониженная биопродуктивность, приводят к тому, что основным компонентом современных донных осадков является терригенный материал.

Насколько можно судить при столь малой изученности, на территории листа U-1,2 практически повсеместно развиты терригенные осадки с примесью биогенного материала, представленного преимущественно фораминиферами, в очень незначительных количествах встречаются спикулы кремниевых губок. Поэтому основной характеристикой, отражающей условия осадконакопления, является гранулометрический состав. Литологический состав слоя современных донных осадков является довольно монотонным за исключением небольших участков крутых склонов, что является следствием однообразия гидродинамических обстановок. Песчаная примесь встречается в очень незначительных количествах и ее распределение весьма неупорядоченно. Обогашение отдельных площадей песчаной составляющей может быть связано, как с перемывом отложений придонными течениями и выносом более тонкого материала, так и с областями разгрузки материала ледового разноса.

В пределах листа на крутых подводных склонах выделены предполагаемые области распространения полимикститов (ПМ) галечно-гравийно-песчано-алевритового-пелитовых с примесью фрагментов блоково-глыбовой размерности. Процентное соотношение гранулометрических классов установить невозможно, кроме того, это соотношение сильно изменчиво по разрезу и по площади. На возвышенностях Трукшина, Рогоцкого, на крутых склонах горы Шамшура этот тип отложений установлен в ходе пробоотбора с борта ледокола «Капитан Драницын» в ходе рейса «Арктика-2012», остальные площади предполагаемого распространения обвальнo-оползневых полимикститов проведены по геоморфологическим признакам. На крутых склонах горы Шамшура обвальнo-оползневые отложения зафиксированы также в рейсе «Арктика-2000» при пробоотборе с борта НЭС «Академик Фёдоров» [136].

Факторы, влияющие на распределение различных гранулометрических типов

Для того, чтобы ограничить предполагаемые поля распределения рыхлых отложений, рассмотрим механизмы поставки частиц различной размерности.

В самом общем виде ясно, что распределение частиц по размерам зависит от крупности исходного кластического материала, от преобразования начальных размеров зерен в процессе транспортировки осадка водными или воздушными потоками, от интенсивности воздействия на осадок гидродинамики среды.

Значительное количество обломочного материала поступает в бассейн с речным стоком, но в зонах маргинальных фильтров [45] происходит осаждение практически 100 % песчано-алевритового материала и до 95 % пелитово-

го. Незначительное количество выносится в акваторию речными льдами в весенне-летний период, но весьма значительная часть речного льда тает в пределах шельфовых морей, таким образом, поставку обломочного материала в океанический бассейн за счет речного стока можно считать весьма несущественной.

Абразия морских берегов и поступление в бассейн обломочного материала с припайным морским льдом и айсбергами можно рассматривать как более существенный источник обломочного материала [44]. Отколовшиеся припайные льдины и айсберги крупных размеров могут транспортировать обломочный материал на весьма значительные расстояния, исчисляемые сотнями и тысячами километров. За счет очень медленной оттайки и постепенной разгрузки осадочный материал, поставляемый таким образом, распространяется по всей акватории. Поставка материала таким путем контролируется поверхностными течениями. Однако трудно признать этот механизм основным в формировании донных осадков, т. к. соотношение крупно-, мелко- и тонко-обломочного материала в осадке и в плавучих льдах сильно различается. Глубоководные донные осадки сложены преимущественно пелитом, тогда как в плавучих льдах объем тонкодисперсных частиц не превышает объем грубообломочного материала.

Поступление эоловым путем можно рассматривать для частиц преимущественно пелитовой и, в меньшей степени, алевроитовой размерности. Перенос частиц воздушным путем возможен на десятки, сотни, а для очень тонких – и на тысячи километров. Поскольку акватория листа U-1,2 практически круглогодично покрыта сплоченным льдом, прямой эоловый транспорт может поставить в бассейн весьма незначительное количество материала пелитовой размерности. Но при разгрузке аэрозолей на поверхности шельфовых морей, свободных ото льда, за пределами зон маргинальных фильтров, возможна дальнейшая транспортировка водным путем на весьма значительные расстояния.

Частицы пелитовой размерности менее 0,01 мм оседают в водной среде со скоростью до нескольких сантиметров в сутки в составе органо-минеральных комплексов, и их осаждение на глубинах более 1000 м происходит на расстоянии нескольких тысяч километров от места попадания их в водную среду. Таким образом, их распределение в значительной степени контролируется течениями как поверхностными, так и на глубине. Для частиц пелитовой размерности, составляющих значительную часть современных осадков, такой механизм поставки является преимущественным.

Частицы алевроитовой и песчаной размерности поступают в осадок в значительной степени за счет ледового разноса, в т. ч. эолово-ледового, в меньшей степени локально – на крутых склонах в составе гравитационных оползней – размыв коренных отложений.

Частицы гравийно-галечной и более крупных размерностей распространены повсеместно, но крайне неравномерно на большей части акватории: весьма незначительное количество, единичные находки – продукт ледового разноса, на крутых склонах – обвалы, оползни – контролируется геоморфологическим фактором.

Чистые пелиты, т. е. осадки, сложенные пелитовой фракцией более чем на 90 % в пределах картируемой области, не установлены – присутствие их

можно предположить в глубоководных впадинах, но для того чтобы иметь основания закартировать эти области, необходимо подтвердить это пробоотбором грейфером или дночерпателем.

Алевритистые пелиты, предположительно, развиты практически по всей акватории листа. Сортированность этих осадков преимущественно хорошая. Содержание пелитовой фракции осадков этого типа очень высокое – от 75,2 до 83,5 %, так что разграничение чисто пелитовых и пелитовых осадков порой достаточно условно. Количество зерен песчаной фракции не превышает 7,5 %, максимальное содержание гравийной – 5,8 %, однако в основном наблюдается от 0 до 2 % зерен более 0,1 см диаметром. Преобладание пелитовых осадков свидетельствует о спокойной придонной гидродинамике.

Алевропелиты занимают преимущественно небольшие площади. Сортированность алевропелитов – от средней до хорошей. Некоторое укрупнение размерности осадка обусловлено разносом материала, формирующегося при абразии и денудации склонов положительных форм рельефа и, возможно, некоторого повышения гидродинамической активности, не приводящей тем не менее к опесчаниванию осадка. Это области устойчивой аккумуляции. В алевритовой фракции существенно преобладает мелкозернистый алеврит (12,8–21 % против 4,4–8,5 % содержания крупнозернистого). Песчаная составляющая этого типа устойчиво невелика – от 4,7 до 13,1 %.

К осадкам смешанного типа относятся миктиты с содержанием трех фракций от 10 до 50 %. Они обнаружены всего на одной грунтовой станции на склоне с предположительно палимпсестово-терригенными отложениями. Песчано-алевро-пелитовый миктит на 19,4 % сложен алевритами (с преобладанием мелкозернистых) и на 12,2 % песками. Гравия всего 0,3 %, остальное представлено пелитовой фракцией. На появлении смешанного осадка сказываются скорее всего локальные особенности рельефа и/или характер размываемых вдольсклоновыми течениями отложений.

Притом, что преобладание в осадках пелитовой фракции (от 58,9 до 86,8 %) отвечает общим закономерностям осадконакопления и характерно для изученного района, вышесказанное, разумеется, не означает абсолютного отсутствия в осадке крупнозернистого материала. В целом по акватории рассматриваемого листа содержание песчаной фракции изменяется от 0,9 до 13,1 %. На современном уровне изученности установить четкие закономерности в распределении песчаной фракции не удастся, заметной связи с геоморфологической позицией точек отбора нет. На единичных станциях содержание гравия от обычного 0–2 % повышается до 4,0–5,8 %, на присклоновых участках даже до 9,1 %. Крупнообломочный материал в осадках котловин встречается очень редко [67].

Учитывая постоянно высокое содержание пелитовой фракции, надо признать, что движения водных масс в основном все же не обладают достаточной энергией для размыва отложений в больших объемах, следовательно, донная абразия и денудация невозможны без вовлечения тектонических факторов.

Гидродинамика бассейна

Суммарное направление движения вод на акватории листа U-1,2 определяется взаимодействием постоянных и дрейфовых течений, создающих достаточно сложную схему. Приливно-отливные течения в данном регионе проявляются слабо [53]. Циркуляция вод рассматриваемой части Арктического бассейна недостаточно изучена. В районе хр. Менделеева сопрягаются слабо выраженные циклонические Канадский и Евразийский круговороты [146]. Исследования, проведенные в северных частях хр. Ломоносова, показали наличие современных придонных движений водных масс в направлении, поперечном хребту, с максимальными скоростями, превышающими 12 см/с [94]. С этим согласуются представления о движении холодных вод, пересекающих поднятие Менделеева с востока на запад под углами от 45 до 90° и погружающихся в котловину, порождая вдольсклоновые течения. Своеобразие гидрологического режима акватории выражается в сложной стратификации водных масс и разнонаправленности поверхностных и глубинных течений.

Вся толща океанических вод делится на три легко различаемых горизонта: холодные поверхностный и придонный и относительно теплый срединный [12, 55]. Первый горизонт представлен поверхностными типично арктическими водами с отрицательными температурами. Верхний его слой характеризуется пониженной соленостью [4, 55], вызванной как притоком опресненных вод речного происхождения, так и летним подтаиванием плавучих льдов. Опресненность верхнего слоя нельзя целиком отнести на счет притока речных вод, составляющего лишь 1/3400 объема вод Полярного бассейна [68]. В состав вод этого горизонта, несущих основную массу взвешенного вещества, входят перемешанные воды шельфовых морей преимущественно Американского суббассейна [53]. Воды второго горизонта характеризуются соленостью, близкой к нормальной морской, и низкоположительными температурами [55]. Эти плотные воды распространяются в виде медленного течения. Ниже находятся холодные воды третьего горизонта, распространяющиеся до дна глубоководных впадин [55]. Их соленость – около 35‰ [4].

Придонные воды перемещаются в направлении, совершенно не зависимом от движения поверхностных, хотя в целом выдерживается ориентация в северном направлении [4, 53].

Таким образом, верхний горизонт вод поставляет шельфово-речной, золотый и ледовый материал. Второй горизонт содержит течениевые взвеси и зоопланктон. Воды третьего горизонта осуществляют перераспределение локального материала в результате размыва дна придонными течениями и влияют на рассеивание терригенного материала, принесенного водами двух верхних горизонтов.

Для характеристики гидрологического режима бассейна на карте стрелками показываются только основные направления постоянных морских течений (поверхностных и на глубине 1000 м). Скорости поверхностных течений преимущественно до 10 см/с. Значительная часть акватории листа находится в зоне переменных течений Бофортского круговорота [53].

Схема постоянных течений на литологической карте приводится по литературным [12] и картографическим [53, 103, 4, 146] данным.

Вещественный состав и генетические типы современных осадков

Незначительное количество грунтовых станций не позволяет фиксировать все различия в литологическом составе осадков. Ясно, что на большей части площади листа преобладают режимы преимущественной и устойчивой аккумуляции со сходным уровнем поступления материала. Также очевидно, что генезис осадков морской. Льды, несомненно, играют какую-то роль в осадкообразовании, но, вероятно, подчиненную.

Характерные черты состава терригенно-минералогических провинций по мере удаления оных от областей сноса ослабевают, минеральный состав осадков осредняется, что связано со значительным перемешиванием взвешенного материала, сносимого с различных участков в процессе транспортировки и механической дифференциацией осадочного материала. Отчетливо преобладающими в тяжелой фракции являются только четыре группы: моноклинных пироксенов (16,5–36,7 %), обыкновенной роговой обманки (7,1–23,1 %), минералов группы эпидота–цоизита (4,9–18,4 %) и черных рудных (0,9–19,1 %). Остальные минералы встречаются, как правило, в количествах, не превышающих 10 %. Повышенные, по сравнению с фоновыми, содержания черных рудных минералов отмечены на Чукотском плато и в зоне вероятного разноса его терригенного (абрадированного) материала.

Однако на крутых склонах, в гравитационно-оползневых отложениях наблюдается вещественная дифференциация на различных полигонах: установлены значительные различия минеральных комплексов.

По химическому составу осадки бедны ведущими компонентами, являясь преимущественно безжелезистыми (менее 5 %) и слабомарганцовистыми. Ввиду незначительного развития в регионе диатомовых водорослей и других кремнесодержащих организмов, содержание аморфного кремнезема составляет доли процента [12, 149].

На поднятии Менделеева выделена зона вероятного распространения терригенных слабокарбонатных осадков [4], в рамках листа – небольшим контуром на самом севере. Она недостаточно подтверждена опробованием, однако слабоизвестковистые осадки (с количеством CaCO_3 от 10 до 20 %) отмечались на южных склонах хребта ранее. Карбонат кальция в них встречается преимущественно в виде остатков раковин фораминифер, связанных с атлантическими водами, и лишь некоторое количество возникло за счет обломков карбонатных пород [12]. По данным Яшина и Кошелевой, наибольшие концентрации CaCO_3 отмечены на гребне хр. Менделеева в интервалах глубин от 1000 до 2000 м. На склонах хребта и во впадинах его количество уменьшается [149].

Зоны вероятного распространения палимпсестово-терригенных отложений отрисованы, в первую очередь, по геоморфологическим показателям и в связи с результатами изучения донно-каменного материала, фиксирующими не вызывающую сомнений его эдафогенность как для других поднятий бассейна [66], так и непосредственно для хр. Менделеева [26]. Ограничение распространения обломков определенного состава границами одной морфоструктуры противоречит возможности его ледового происхождения [67].

После предварительного макроизучения всей коллекции ДКМ, поднятого в рейсе «Арктика-2012», можно сделать предварительные выводы о составе и особенностях распределения ДКМ. Первые полученные результаты были опубликованы в ряде статей [50, 114].

ДКМ в настоящее время разделяется на две основные группы: во-первых, это так называемый дрейфовый материал, доставленный в пределы глубоководной котловины Северного Ледовитого океана (СЛО) дрейфующими льдами и айсбергами, а во-вторых, это эдафогенный материал, представленный обломками местных пород, дезинтегрированными в ходе подводного размыва коренных обнажений на крутых уступах морского дна. Некоторые исследователи считают, что поставка крупномерного ДКМ в акваторию Северного Ледовитого океана осуществлялась преимущественно айсбергами и морскими льдами [44, 87], другие [26, 27, 29] считают, что весь крупномерный ДКМ хр. Менделеева имеет исключительно местное происхождение.

До настоящего времени не выработаны однозначные критерии разделения дрейфового и эдафогенного материала, однако по совокупности косвенных признаков можно предположить, что ДКМ, поднятый в ходе работ «Арктика-2012», преимущественно местного происхождения, возможно, с некоторым количеством продуктов ледового разноса. Это подтверждается литологическим анализом фактического материала.

1. Неравномерное распределение крупномерного ДКМ в пределах акватории. В обширных котловинах и на плоских вершинах встречаются крупные обломки, как правило, очень редкие и единичные. При драгировании и отборе грейфером ДКМ у подножия поднятия Менделеева отмечается не только обилие, но и значительная примесь гравийно-галечного материала, неравномерность и несортированность (рис. 13).

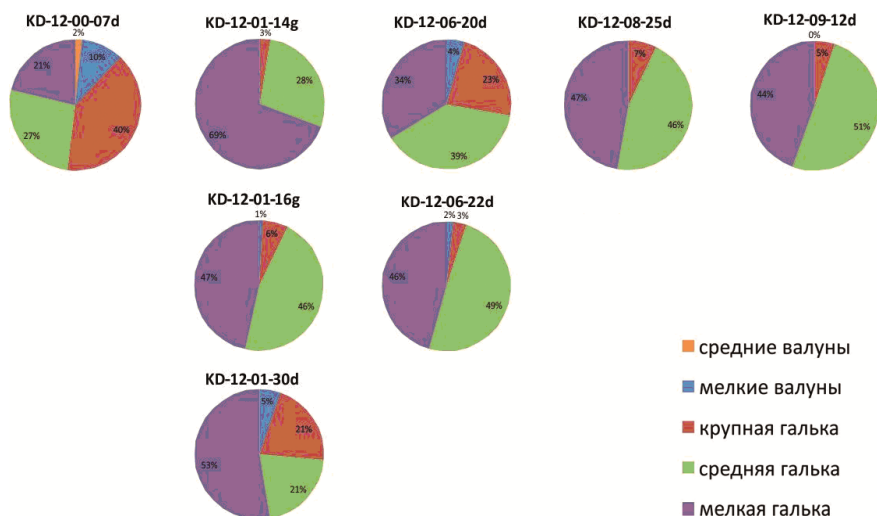


Рис. 13. Диаграммы распределения по размеру крупномерных обломков (без учета гравийного материала).

2. Неравномерность распределения ДКМ по составу. Содержание карбонатных пород колеблется от 60 до 80 %, но, как показывают диаграммы, они преобладают на всех полигонах (рис. 14).

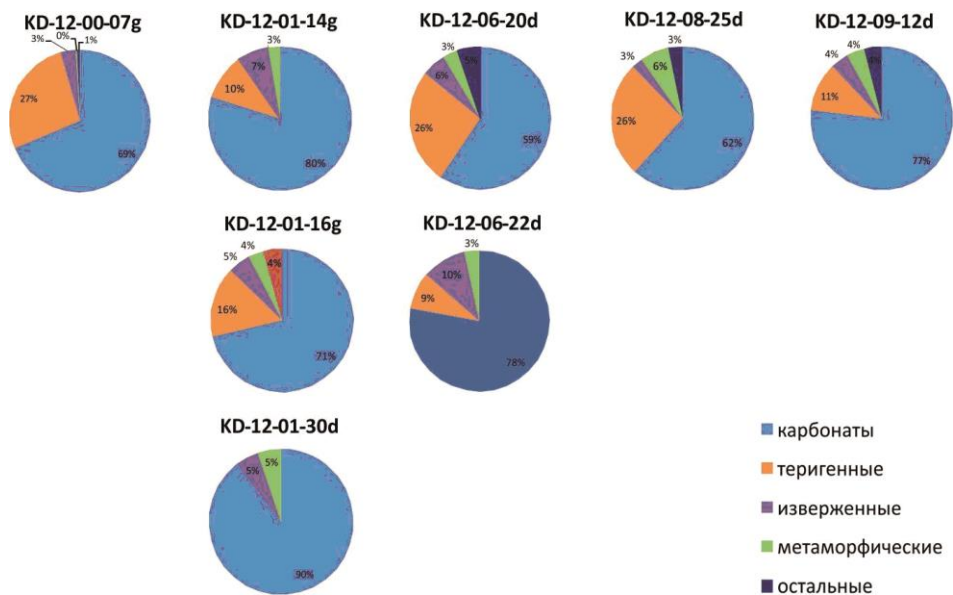


Рис. 14. Распределение пород различного состава по полигонам.

Анализ процентного соотношения известняков и доломитов показал преобладание последних (рис. 15).

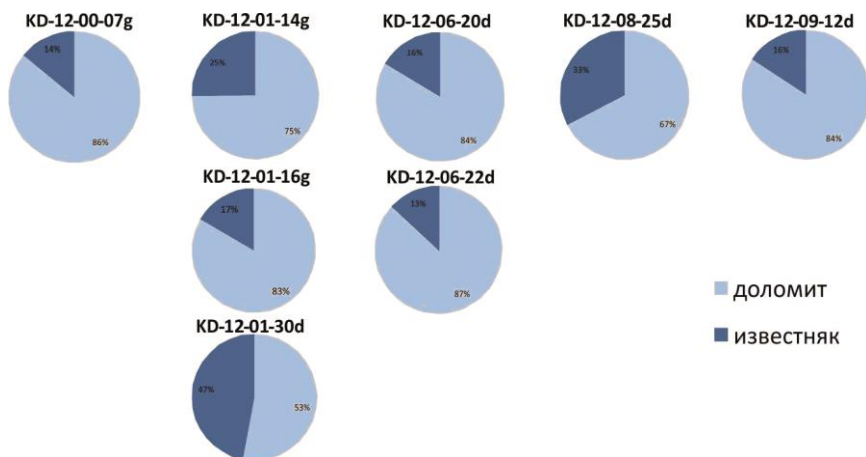


Рис. 15. Процентное соотношение известняков и доломитов с обнаруженными фаунистическими остатками по полигонам.

В целом, то, что преобладающая часть поднятого ДКМ является продуктом обвально-оползневых процессов, подкрепляется следующими аргументами.

1. При весьма изменчивом составе и размерности окатанность до 90 % поднятых обломков имеют 0-й или 1-й класс окатанности (по Хабакову), т. е. естественное перемещение могло составить несколько километров, максимум первые десятки километров. Окатанность изученного айсбергового материала – 1–2. Морские льды поставляют в акваторию материал пляжей, волно-прибойной зоны, как правило, очень хорошо окатанный 3–4-й класс.

2. Наличие коренных выходов – прямые наблюдения и фотофиксация подводных коренных скальных выходов с НИПЛ [20, 21].

3. Гранулометрический состав рыхлых осадков подводных склонов, с которых отбирался крупномерный ДКМ, по своему фракционному составу резко отличается от глубоководных отложений котловин и подводных поднятий. Отложения глубоководных котловин изучены очень слабо – это преимущественно данные анализов осадков, поднятых с СП в различные годы, гранулометрический анализ их проводился по 3–5 фракциям. Эти осадки в большинстве на 80–90 % сложены пелитовой фракцией. В отложениях подводных возвышенностей несколько увеличивается примесь алевроитового материала за счет того, что часть пелитовой фракции выносится подводными течениями. На склонах появляется заметная примесь гравийно-песчаного материала, причем его количество становится больше с увеличением углов склонов, что подтверждает развитие склоновых процессов – оползней, селей и т. д., разрушающих коренные отложения. При этом до 60 % рыхлых осадков сложены пелитом, поставляемым в глубоководные части СЛО водно-ледово-эоловым способом. Кроме того, при сопоставлении вещественного и фракционного состава осадков отмечается неплохая корреляция содержания полевых шпатов и примеси гравийно-песчаного материала, а пелитовая фракция коррелируется с количеством карбонатной органики, представленной преимущественно планктонными фораминиферами.

4. Минеральный состав рыхлых осадков. Изучение вещественного состава рыхлых осадков показало значительное различие минеральных ассоциаций на различных полигонах. Минералогические характеристики тяжелой и, особенно, легкой фракции на различных участках поднятия Менделеева существенно различаются между собой и могут быть сгруппированы в три пространственных кластера. Границы кластеров контролируются как геоморфологическими особенностями строения поднятия, так и особенностями сейсмической волновой картины литифицированной части разреза и отражают существенное влияние размыва местных пород на формирование обломочной части рыхлого чехла.

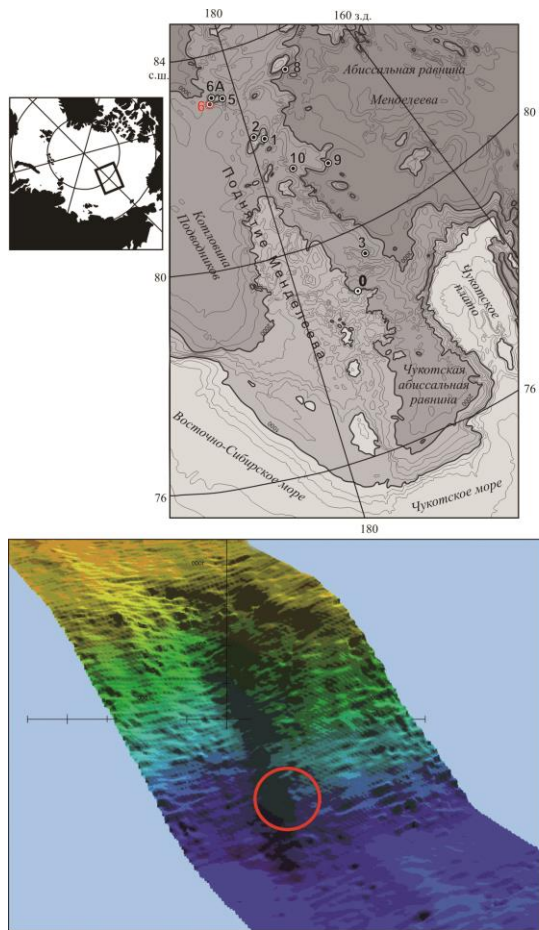
Такие формы рельефа, как очень крутые и крутые уступы и даже склоны со средними уклонами, подверженные денудации, могут быть зонами смещения терригенного материала с естественным гравитационным переносом от вершины к подножию. То есть большинство обломков является эдафогенным компонентом осадков. Существенная же часть осадка в зоне поднятий, состоящая из тонкозернистой фракции, может сочетать в себе в разных пропорциях как преотложенный материал, так и современный.

МАГМАТИЗМ

Наличие в геологическом разрезе картируемой области магматических образований предполагается по целому ряду признаков. Анализ аномального магнитного поля обширной области Центрально-Арктических поднятий позволил целому ряду исследователей в разное время высказывать предположение о наличии здесь значительных толщ базальтов, типичных для внутриплитного магматизма зрелой коры континентального типа [32, 56, 85, 86, 88, 105, 125]. Многие исследователи связывают магнитные аномалии хр. Альфа с многоэтапным проявлением основного магматизма, начиная с мелового времени [121].

Расчет параметров намагниченных тел [32] показал, что область Центрально-Арктических поднятий характеризуется высокими значениями эффективной намагниченности до 2 А/м и двухслойным строением магнитного разреза коры, что весьма характерно для областей с корой континентального типа. При этом верхнему слою могут соответствовать неглубокие магнитоактивные источники, локализованные на глубинах от 1 до 3–5 км, как в нижних горизонтах осадочного чехла, так и в верхней части фундамента. Второй, более глубокий уровень магнитоактивных источников может быть сопоставлен с положением кровли кристаллического фундамента, что хорошо коррелируется с результатами сейсмических исследований методом ГСЗ [59, 144].

Непосредственно на площади листов U-1,2 при помощи сейсмофациального анализа удалось выделить тела основных эффузивов (базальты) и связанных с ними интрузивных образований (долериты). Произведенный расчет глубины залегания верхних кромок магнитоактивных тел на картируемую площадь подтвердил наличие вулканитов и интрузивов в составе акустического фундамента, реже – в осадочном чехле. Позднее такие выводы были подтверждены результатами геологического пробоотбора экспедиции «Арктика-2012». Здесь при драгировании склонов подводных гор и возвышенностей был установлен представительный комплекс обломков базальтов и долеритов предположительно эдафогенного генезиса, приуроченных к крутым тектоническим уступам. Кроме того, на крутом эскарпе горы Трукшина, находящейся в 60 км от западной рамки листов U-1,2, в пределах полигона № 6 была пробурена неглубокая скважина KD12-06-21b непосредственно в коренном выходе (рис. 16).



ПОЛИГОН № 6

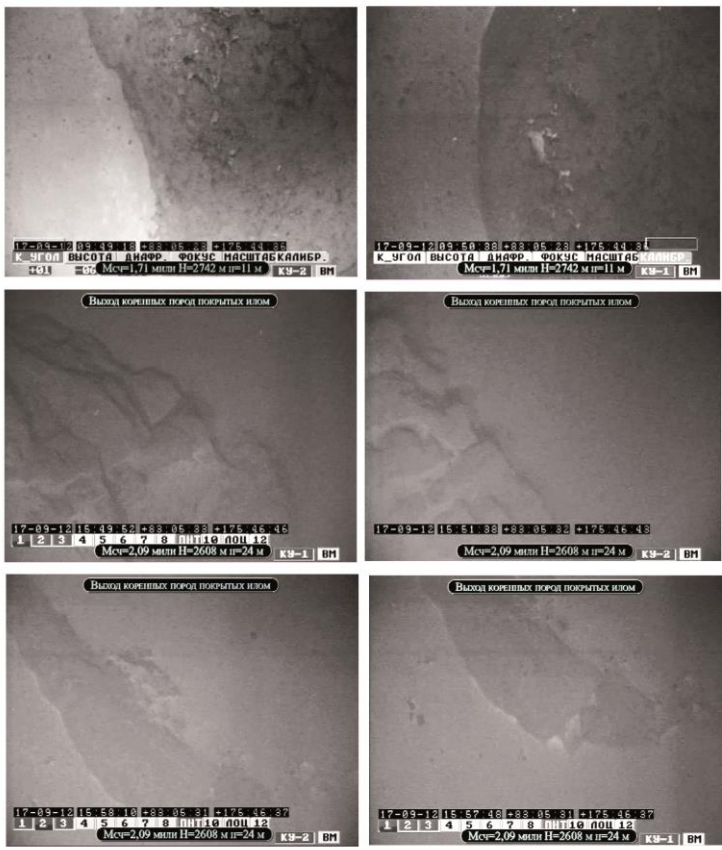


Рис. 16. Выступы коренных выходов магматических пород, вскрытых бурением.

Из вулканической брекчии трахибазальтов с обохренным глинизированным матриксом удалось выделить одно зерно циркона. Зерно тонкоzonальное, короткопризматическое, хорошо ограниченное, магматического генезиса. Содержание урана в цирконе – 600 г/т, отношение Th/U – 0,6. Конкордантный возраст циркона – $127,5 \pm 2,7$ млн лет [50]. Кроме того, в южной части поднятия Менделеева, в пределах листов Т-1,2 скважиной были вскрыты трахибазальты. В миндалекаменном трахибазальте из керна скважины обнаружено 25 зерен циркона. Два самых молодых зерна показали пермский возраст трахибазальтов ~ 260 млн лет (время кристаллизации магмы). Кроме того выделилось пять возрастных кластеров унаследованных цирконов: позднерихейский 2,7 млрд лет (3 зерна); палеопротерозойский 1,9 млрд лет (6 зёрен); раннерифейский 1,65 млрд лет (7 зёрен); позднерифейский от 0,8 до 1,1 млрд лет (5 зёрен); ранневендский 668 млн лет (1 зерно) [50].

Полученные возрастные кластеры захваченных цирконов свидетельствуют о наличии древнего сиалического фундамента, подстилающего породы поднятия Менделеева. Присутствие в базальтах цирконов, типичных для изверженных пород, с возрастом 127 и 260 млн лет подразумевает существование на изученной территории вулканических ареалов двух крупных магматических провинций: меловой (HALIP) и пермо-триасовой (траппы Сибирской платформы и рифтогенные базальты Западно-Сибирской плиты) [50].

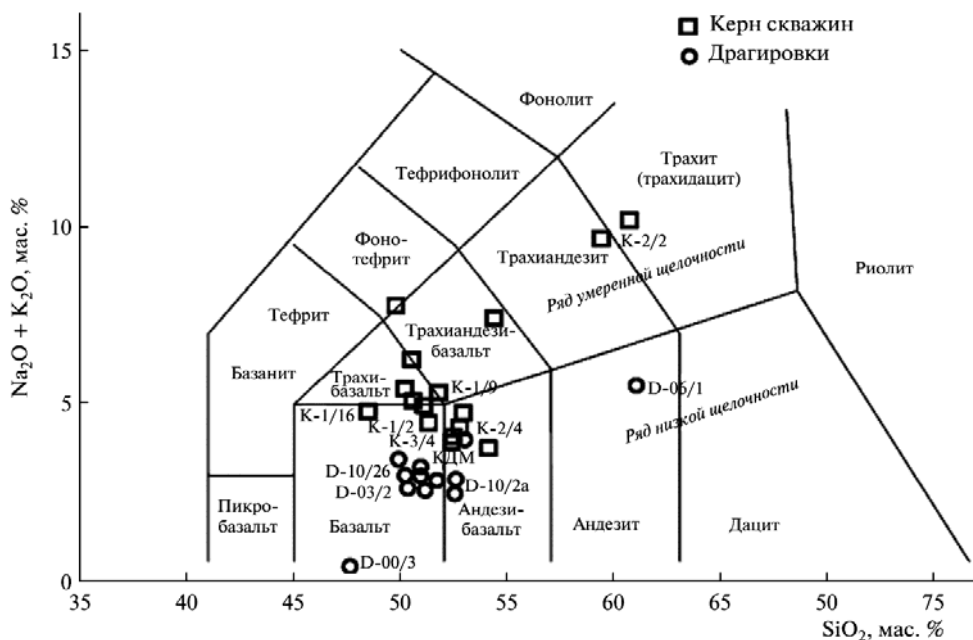


Рис. 17. TAS-диаграмма средних и основных магматических пород поднятия Менделеева [38a].

На TAS-диаграмму (рис. 17) вынесены данные для пород из керна скважин и поднятых при драгировании на поднятии Менделеева, в т. ч. 12 проб, в которых были исследованы Rb-Sr, Sm-Nd изотопные системы (они отмечены соответствующими номерами). На графике видно, что составы керна попадают в поля умеренной щелочности (трахибазальты, трахиандезиобазальты, трахиандезиты, трахиты) и низкой щелочности (базальты и андезибазальты). Что же касается драгированных пород, то точки их составов группируются в поле низкой щелочности (базальты, андезибазальты) с содержанием $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ менее 4–5 мас. % [38a]. Полученные изотопно-геохимические данные показали, что источником вещества вулканических пород основного и среднего составов, разбуренных на поднятии Менделеева, были мантийные расплавы, которые, в отличие от MORB, формировались при плавлении обогащенной мантии. Sm-Nd изотопные характеристики вулканитов поднятия Менделеева очень хорошо совпадают с таковыми для вулканитов островов Евразийской континентальной окраины [70, 72 и др.].

Непосредственно на сейсмических профилях по изменению характера отражения в кровле Аф, совпадающему с положением значительных (до 600 нТл) магнитных аномалий, диагностировались крупные базальтовые тела. Наличие в этих же районах дайковых комплексов, связанных с базальтовыми телами, предполагается по общегеологическим соображениям. Характер залегания базальтовых тел (покровы, силлы, потоки) по сейсмическим данным не установлен.

По положению в разрезе и характеру соотношения с вмещающими породами нами предполагаются базальты трех возрастных генераций. Во-первых, это крупные тела (силлы?) раннемелового возраста, которые по аналогии с материковой и островной сушей отнесены к апт-альбскому возрасту. Апт-альбские базальты образуют вытянутые тела размерами по длинной оси до 150–200 км и тяготеют к осевой части поднятия Менделеева.

Молодые, предположительно, миоценовые базальты (долериты?) большей частью приурочены к зонам тектонических нарушений и образуют субвертикальные дайковые тела, а также согласные с вмещающими породами силлы, внедряющиеся в осадки олигоцен-раннемиоценового возраста. Миоценовые базальты распространены преимущественно в пределах поднятия Менделеева.

Результаты количественной интерпретации магнитометрических данных показали хорошую сходимость с результатами интерпретации сейсмических данных. По расчетам глубины залегания кромок магнитоактивных тел также удается выделить комплекс неглубокозалегающих аномалеобразующих объектов, которые коррелируются с динамически выраженными рефлекторами на профилях МОВ ОГТ, интерпретируемыми как тела вулканитов.

Из полученных значений глубин залегания контактов были отобраны верхние (наименее глубокие) оценки, и на их основе построена модель рельефа поверхности верхнего магнитоактивного слоя. Геофизические данные также хорошо коррелируются с прямыми геологическими наблюдениями как непосредственно в границах листов (результаты экспедиции «Арктика-2012»), так и с геологическими данными по смежным областям.

Как известно, апт-альбские базальты установлены и датированы на поднятии Де-Лонга [9, 70, 72], миоцен-эоплейстоценовые эффузивы известны на островах Жохова и Вилькицкого [6].

Результаты геологического опробования на поднятии Менделеева показывают, что при донном пробоотборе на крутых эскарпах практически повсеместно встречаются обломки базальтов и долеритов. Последние результаты неглубокого бурения и драгирования в экспедиции «Арктика-2012» однозначно доказывают наличие в коренном залегании базальтов, обнажающихся в тектоническом уступе на западном склоне горы Трукшина.

На наличие туфов базальтов на восточных склонах поднятия Менделеева указывают характерные сейсмические аномалии [79]. При этом совокупность высокоамплитудных отражений от кровли Φ_a и низкие интервальные скорости в верхних горизонтах фундамента скорее всего свидетельствуют о переслаивании пластов базальтов и вулканогенно-осадочных образований.

ТЕКТОНИКА

Определение тектонической структуры региона сопряжено со значительными трудностями ввиду слабой изученности структуры и вещественного состава пород фундамента. О происхождении поднятия Менделеева и хр. Альфа, их возрасте до сих пор нет единого мнения. Считалось, что они в целом представляют собой реликт древней платформы, которую Н. С. Шатский [74] называл Гиперборейской. Ю. М. Пушаровский [63] также считал эту область не океанической, а континентальной, но с измененным типом коры. Этой точки зрения придерживается большинство исследователей [8, 24, 25, 26, 27, 105]. Д. Форсит [85] и Н. А. Богданов [5] высказывали точку зрения, в соответствии с которой хр. Альфа и поднятие Менделеева являются базальтовым вулканическим плато. Некоторые исследователи считают их следом горячей точки [86, 97] или отмершим срединно-океаническим хребтом [17, 89]. Существует также мнение о воздействии мезозойского Арктического плюма на структуру поднятия Менделеева [73]. Рассчитанное по геотермическим данным среднее время образования (97–79 млн лет) хр. Альфа и поднятия Менделеева [7] хорошо согласуется с апт-альбским временем активного магматизма и субширотного растяжения континентальной Евразийской окраины.

Глубинное строение. Поверхность раздела Мохоровичича построена по результатам разработанной во ВНИИОкеангеология методики 3D гравитационного моделирования [15], используемой с 2000 г. для оценки мощности земной коры Центрально-Арктического бассейна в связи с проблемой внешней границы континентального шельфа РФ [46]. Данная методика основана на последовательном учете и исключении из аномального гравитационного поля 3D гравитационных эффектов от известных контрастных плотностных границ в земной коре («вода–дно» и «осадки–фундамент») и последующем пересчете остаточных аномалий в рельеф подошвы земной коры.

Исходными данными для вычислений стали цифровые модели глубин до известных границ раздела, величины плотностных контрастов на этих границах, а также начальная (осредненная) глубина H_0 , от которой производился расчет изменений положения раздела Мохо. Глубина H_0 выбиралась с учетом существующих сейсмических данных. В результате проведенного моделирования мощность консолидированной части земной коры под поднятием Менделеева и хр. Альфа определена в пределах от 25 (на склонах) до 32 км (в центральной части). Такая оценка сопоставима с новыми опубликованными

ми данными [33, 34, 35, 59, 60, 61]. По типам коры, имеющим свои характерные особенности строения и, прежде всего, мощность [34], в пределах поднятия Менделеева и хр. Альфа выделяется континентальная, а в пределах впадины Менделеева – субконтинентальная (рис. 18).

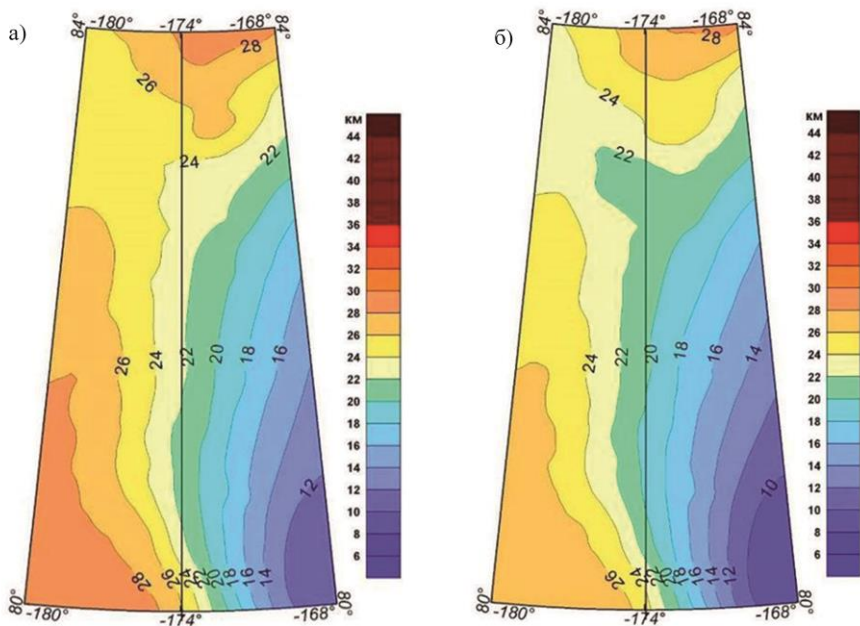


Рис. 18. Мощность земной коры по результатам 3D гравитационного моделирования:

а) суммарная; б) консолидированной части.

Глубинные геолого-геофизические разрезы по линиям А–Б и В–Г, сопровождающие схему глубинного строения (см. ГКДО), создавались на основе результатов двухмерного гравитационного моделирования.

Исходная модель вдоль линии А–Б построена на основе сейсмического разреза ГСЗ вдоль профиля «Арктика-2000», выполненного ПМГРЭ в 2000 г. [24, 67], и разреза вдоль профиля МОВ ОГТ ARC 12-17, выполненного ОАО «Севморгео» в 2012 г. [127]. Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют охарактеризовать строение земной коры вдоль профиля на всю ее мощность. Для построения верхней части исходной модели по линии А–Б использовались данные МОВ ОГТ как более детальные. Суммарная мощность земной коры вдоль линии А–Б изменяется от 28 км на поднятии Менделеева до 16 км в одноименной котловине.

Исходная модель вдоль линии В–Г построена на основе разреза вдоль профиля МОВ ОГТ ARC 12-01 [127]. Данный профиль характеризует строение осадочной толщи до глубины залегания акустического фундамента. При построении глубинных границ земной коры авторы ориентировались на данные ГСЗ по профилям, пересекающим поднятие Менделеева – «Арктика-2000»,

«Арктика-2005» [67] и «Арктика-2012» [127]. В исходной модели по линии В–Г ниже акустического фундамента были выделены три слоя: промежуточный комплекс, верхняя и нижняя части консолидированной коры. Сейсмический профиль МОВ ОГТ ARC 12-01 не доходит до северной границы рассматриваемых листов примерно 100 км, поэтому линия модели была искусственно продлена по прямой линии до пересечения с параллелью 84° с. ш. Батиметрия на этом интервале была взята из батиметрического грида ИВСаО v. 3 [95], рельеф границы кора–мантия был получен из цифровой модели поверхности Мохо, а сейсмические границы как в осадочном чехле, так и в консолидированной коре при моделировании интерполировались. Мощность земной коры вдоль профиля изменяется в пределах 27–30 км на поднятии Менделеева и 24–26 км на хр. Альфа.

Наиболее яркой характеристикой области поднятий Альфа и Менделеева является интенсивное знакопеременное аномальное магнитное поле с амплитудой аномалий от –700 до +1000 нТл. Оно простирается с области поднятий в примыкающую котловину Менделеева, что не позволяет четко установить границу между ними по данным магниторазведки в рамках листов.

Особенности аномального магнитного поля большинством исследователей объясняются присутствием ниже подошвы осадочного чехла слоя покровных вулканитов, формирующих так называемую крупную магматическую провинцию поднятий Альфа–Менделеева. В свете полученных оценок глубин залегания верхних кромок, это мнение полностью обосновано. Действительно, результаты расчетов глубин залегания магнитоактивных источников по методу двумерной деконволюции Вернера показывают, что они располагаются в пределах акустического фундамента, а их верхние кромки тяготеют к его кровле. Кроме того, высказанное предположение подтверждается современными высококачественными разрезами МОВ ОГТ, на которых идентифицированы следы вулканической активности (вулканические центры, наклонные рефлекторы, туфовые толщи и т. п.) [79], а также результатами экспериментального бурения коренных пород поднятия Менделеева в ходе экспедиции «Арктика-2012», выявившего в кернах обломки базальтов [20, 50, 127].

Структурно-тектоническое районирование. В пределах картируемой области листов U-1,2 сопрягаются несколько структур первого порядка на коре континентального и субконтинентального типа. Основную часть площади занимает гребневая часть поднятия Менделеева, представленная здесь сложной системой блоков, имеющих клавишное строение. К своему северному окончанию поднятие Менделеева резко понижается по глубине моря, при этом меняется направление структур с северо-западного на северо-восточное. В северной части листов выделяется хр. Альфа уже с устойчивым северо-восточным простираением структур. Восточную часть листов U-1,2 занимает котловина Менделеева.

В результате интерпретации всех доступных геолого-геофизических данных авторами выработана следующая концепция тектонического строения картируемой области. Поднятие Менделеева на доокеаническом этапе развития представляло собой область с платформенным строением. Возраст складчатого основания древней платформы, возможно, был карельским или байкальским, а может быть, и более молодым – каледонским. Полученные в по-

следнее время датировки цирконов из образцов донного каменного материала дают широкий разброс. Изотопное датирование U-Pb методом из образцов AF-05-24D и AF-05-26D по смежным с юга листам Т-1, 2, показало, что возраст цирконов находится в инт. 2616–2271 и 2615–2339 млн лет соответственно; из образца В-299 – 2659–1872 млн лет [30]. Похожие датировки получены также и по другим районам Амеразийского бассейна, но есть и более молодые. Например, возрастные датировки цирконов U-Pb методом, полученные американскими геологами по четырем образцам донного каменного материала, драгированного на севере хр. Нордвинд, укладываются в интервалы 430–900 и 1500–2800 млн лет (стендовый доклад по результатам полевых работ 2008–2009, 2011 гг. К. Brumley, E. Miller и др.). К сожалению, пока не выработаны критерии разделения принесенных льдами обломков горных пород и местных обломков, скатившихся с обнаженных склонов подводных гор. Тем не менее, какая-то часть образцов все же имеет местное происхождение.

Скорее всего, платформенный чехол поднятия Менделеева подвергся деформации в несколько этапов. Трудно судить о характере этих деформаций, если эти образования находятся в акустическом фундаменте, а в выступах на морском дне в основном обнажаются магматические породы. Относительно низкие сейсмические скорости, слабая измененность палеозойских горных пород, отсутствие метаморфизма, свидетельств процессов катаклаза, кливажирования и других признаков полной складчатости приводят к выводу о незначительной степени складчатых процессов, затронувших платформенный чехол. Возможно, имели место блоковые движения, торошение и дробление пород платформенного чехла; признаки этих явлений, скорее всего, сохранились в граничных частях двигавшихся блоков, а центральные их части сложены слабоизмененными породами.

Так или иначе, породы платформенного чехла не отражаются в поле отраженных волн на профилях МОВ ОГТ как слоистые образования, поэтому при расшифровке тектонической структуры и оценке перспектив нефтегазоносности приходится говорить о нарушенном состоянии домеловых комплексов. Значительно повлияло также широкое развитие магматизма, выразившееся в региональном распространении на поднятие Менделеева и хр. Альфа вулканических, осадочно-вулканогенных и интрузивных комплексов преимущественно основного состава. Излившиеся базальтовые покровы частично скрыли разбитый блоковыми движениями фундамент и чехол древней платформы. На профилях МОВ ОГТ базальтовые покровы явились экраном, пропускающим, рассеивающим или частично пропускающим сейсмические волны ниже поверхности акустического фундамента. В результате в сейсмической записи среди хаотической записи акустического фундамента местами видим упорядоченные рефлекторы, свидетельствующие о расслоенности, близкой к осадочной слоистости.

Поднятие Менделеева на площади листов U-1,2 характеризуется четкой блоковой структурой. Развитые в его пределах разрывные нарушения, проникающие глубоко в фундамент, меняют северо-западное простираание на северо-восточное при движении с юга на север. Гораздо реже встречаются субширотные разломы. За исключением нескольких выведенных на поверхность

морского дна обнажений пород фундамента, практически вся область поднятия перекрыта мощным (0,5–1,5 км) осадочным чехлом.

Хр. Альфа в пределах листов U-1,2 представлен своей применделеевской частью, куда входят горы Рогоцкого и отроги гор Рябова. Горы ярко выражены, относительное превышение над абиссальной равниной Менделеева составляет 1500 м. Простираение структур в пределах этой части хр. Альфа – восток-северо-восточное.

Впадина Менделеева в пределах площади представлена западным замыканием, в современной морфоструктуре ей соответствует абиссальная равнина Менделеева. Мощность осадочного чехла в пределах площади листов – 1,5–2,5 км. Поверхность морского дна во впадине Менделеева находится на глубинах 3000–3400 м.

Выделение большинства тектонических элементов региона опирается на комплексный анализ потенциальных полей, в том числе карт вертикального и горизонтального градиентов аномальных магнитного и гравитационного полей, сейсмических и геоморфологических данных, а также анализ результатов геологического опробования.

Судя по имеющимся сейсмическим данным и очертаниям аномалий потенциальных полей, в пределах поднятия Менделеева наиболее древней является северо-западная система нарушений. Она частично замаскирована и нарушена более молодыми разломами, однако в центральной части поднятия Менделеева (79–82° с. ш.) легко читается в направлениях основных уступов и ступеней современного рельефа, а также интерпретируется на сейсмических профилях. Амплитуды сбросов достигают 300–500 м.

Хр. Альфа характеризуется восток-северо-восточной системой нарушений, которая, по всей видимости, формировалась одновременно с северо-западной системой поднятия Менделеева.

Более молодая – субмеридиональная – система нарушений преобладает в южной части листов в пределах поднятия Менделеева (южнее 82° с. ш.). Нарушениями этой генерации образованы наиболее крутые западные склоны поднятий, а также локальные поднятия и выступы акустического фундамента (рис. 19). Смещение по сбросам достигает 1000 м и более. Часть нарушений активизирована на неотектоническом этапе.

Поперечная система нарушений, по-видимому, является самой молодой из обнаруживаемых в регионе. Она пересекает все остальные системы, отделяет поднятие Менделеева от хр. Альфа и делит первое на ряд сегментов. Предположительно, система представлена левыми сбросо-сдвигами. Вертикальные амплитуды достигают 500 м.

Разрывные нарушения, широко распространенные в пределах картируемой площади, никак не проявлены в современной сейсмичности: на картируемой площади за последние 100 лет не зафиксировано ни одного землетрясения. Вместе с тем, свежесть склонов некоторых гор поднятия Менделеева и хр. Альфа, нарушенность фундамента и всего разреза осадочного чехла пликативными и дизъюнктивными дислокациями свидетельствуют о недавней тектонической активности региона.

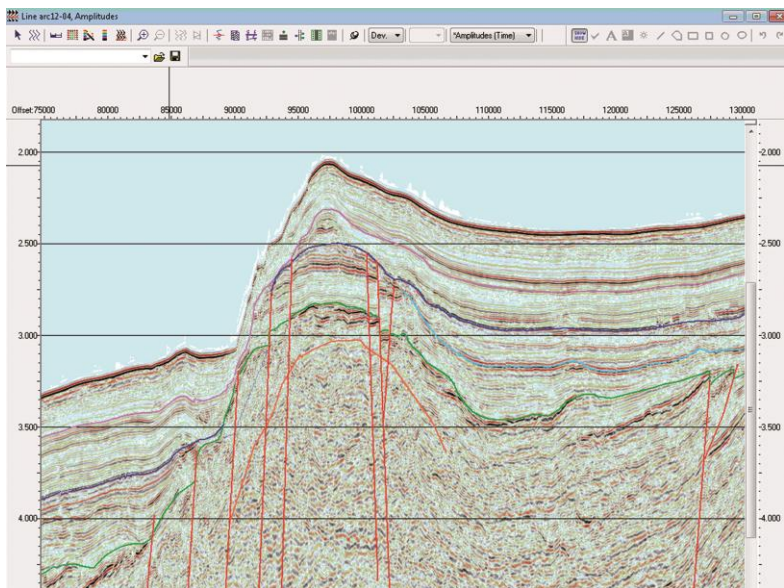


Рис. 19. Фрагмент сейсмического профиля ARC 12-04, пересекающего крутой западный склон поднятия Менделеева примерно по 81° с. ш.

Наиболее крутые уступы образованы субмеридиональными сбросами.

В процессе подготовки геофизической основы листов была разработана модель тектонической эволюции, несколько отличающаяся от принятой авторами. Выявленные коллективом [73а] структурно-тектонические особенности поднятия Менделеева свидетельствуют о том, что во время последней значительной тектонической активизации оно находилось в условиях трансформации – косоугольного растяжения. Это привело к формированию структур растяжения – грабенов и нормальных сбросов – и структур поперечных нарушений – сдвигов. Сдвиговые напряжения обусловили формирование вначале изолированных, а позднее цепочек – ромбовидных грабенов, так называемых впадин пулл-апарт, со временем объединяющихся в единый бассейн. Результаты именно такого процесса, по мнению авторов [73а], фиксируются на поднятии Менделеева, причем его интенсивность, согласно приведенному описанию, возрастает в северном направлении. Важно отметить, что предполагаемые авторами статьи [73а] крупные левосторонние сдвиги установлены всего по одному профилю МОВ ОГТ. Чисто сдвиговых нарушений в пределах картируемых листов вовсе не наблюдается, они всюду имеют вертикальную составляющую перемещения блоков. Кроме того, эти нарушения, принимаемые за сдвиговые, быстро исчезают при переходе от гребневой зоны поднятия Менделеева к соседним котловинам Подводников и Менделеева, в пределах которых осадочный чехол находится в ненарушенном состоянии.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ

При составлении геоморфологической и орографической схем, а также текста объяснительной записки используемая терминология приведена в соответствие с той, которая применялась в проекте Пересмотренного представления на установление внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане [132].

Район работ целиком располагается за бровкой шельфа в Арктическом бассейне и относится к области поднятий, соединяющей противолежащие российский и гренландско-канадский шельфы [42, 43, 54 и др.]. Площадь настоящих листов, как и расположенных южнее листов Т-1,2, целиком принадлежит к Лаптевоморско-Чукотскому сектору континентальной окраины Евразии и входит в заявленный Российской Федерацией расширенный шельф [11, 52, 67, 132], то есть рассматривается как часть континентальной окраины, а именно – часть континентального склона сложного строения [122, 132]. Основную площадь листов U-1,2 занимает северная часть поднятия Менделеева (см. Орографическую схему). Морфологическая граница между ним и хр. Альфа проходит в границах листов по прямолинейной долине северо-восточной ориентировки – проходу Содружества [13]. Однако формально, согласно GEBCO [151], граница между хребтом и поднятием проходит севернее (рис. 20). Поэтому именно так поднятие рассматривается и в настоящей работе.

Дно прохода Содружества плоское, глубины в нем составляют 2700–2800 м. На востоке он раскрывается в северную часть впадины Наутилус, на западе, уже за границей листов – в котловину Подводников. С востока к поднятию Менделеева примыкает «абиссальная» равнина Менделеева с глубинами в пределах листа 3200–3300 м. Это официально закрепленное за ней название [151], но оно, как и название расположенной южнее (U-1,2) Чукотской «абиссальной» равнины (глубины 2200–2400 м), вступает в противоречие с современными данными о рельефе дна. В морфологическом отношении равнина Менделеева представляет собой террасу, поскольку имеет восходящий к плато Почтарева тыловой склон и нисходящий фронтальный, обращенный во впадину Наутилус (рис. 21). Кроме того, современное толкование понятия «абиссальные равнины» предполагает, что они имеют глубины, как правило, более 4000 м [38, 152, 153 и др.]. Поэтому в настоящей работе применительно к равнинам Чукотская и Менделеева слово «абиссальный» приводится в кавычках. В соответствии с Пересмотренным представлением на установление внешней границы континентального шельфа Российской Феде-

рации в Северном Ледовитом океане, в качестве абиссальных равнин в Северном Ледовитом океане признаются только расположенные в котловинах Нансена, Амундсена, Макарова и Канадской. Все прочие равнины на зашельфовых глубинах в Центрально-Арктической области поднятий рассматриваются как террасы – ступени погруженной континентальной окраины.

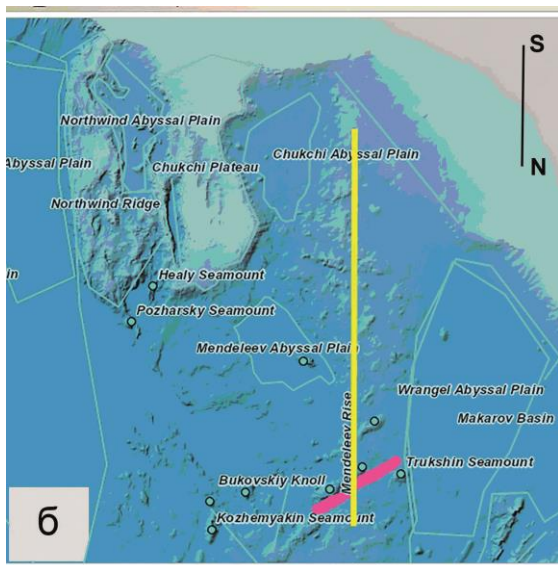
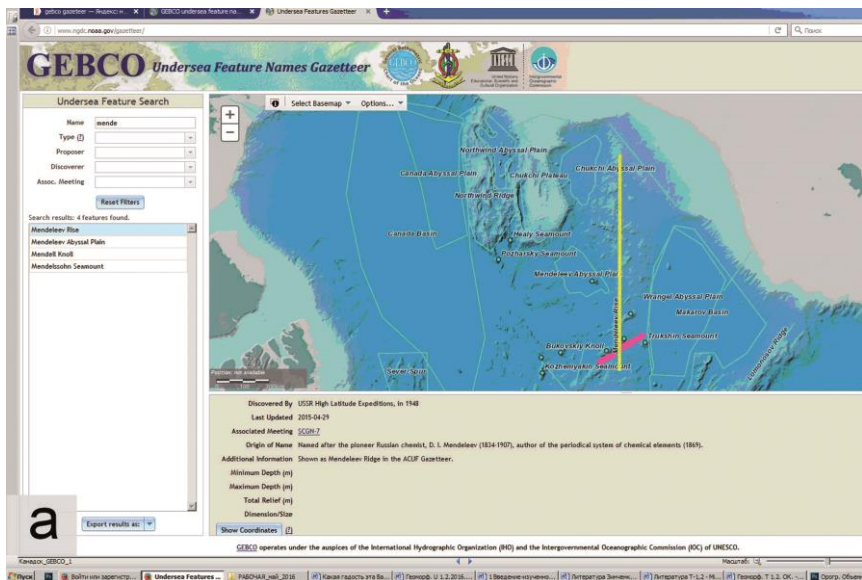


Рис. 20. Обозначение поднятия Менделеева (Mendeleev Rise) согласно газеттиру GEBCO:

а) скриншот с дополнениями, б) фрагмент увеличенного изображения. Поднятие Менделеева показано желтой линией. Дополнительно красной линией обозначено положение прохода Содружества (данный топоним в газеттире отсутствует).

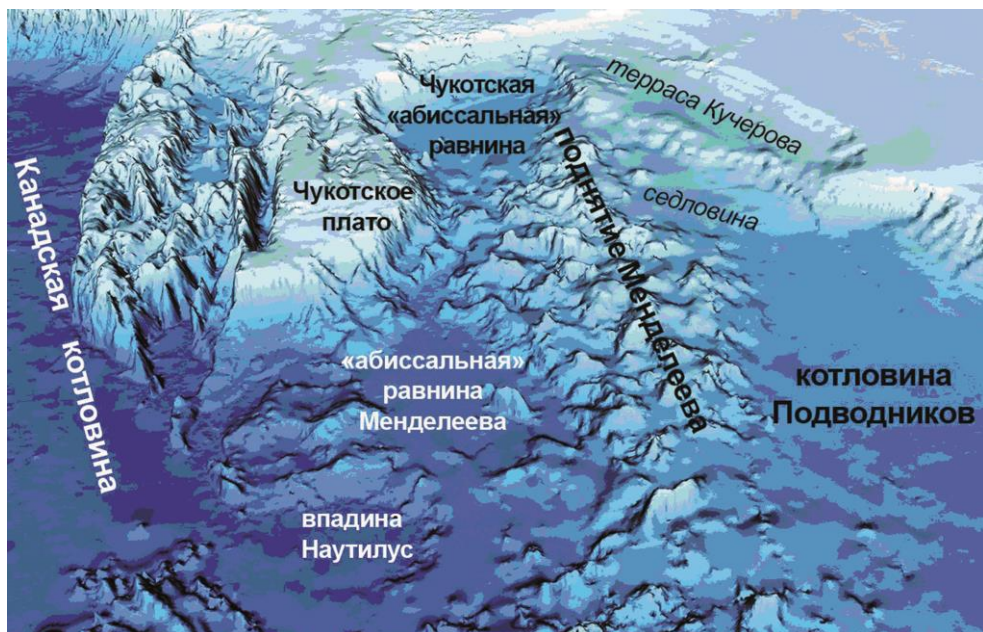


Рис. 21. Объемное изображение основных орографических форм в окрестностях поднятия Менделеева.

Моделирование на основе грида ИВСАО v.3.0, вид со стороны хр. Альфа.

Само Поднятие Менделеева в границах листа представлено несколькими крупными ступенями с отметками 2200–2400, 2400–2500, 2700–2800, 3000–3200 м. Ступени осложнены плато и горами, которые зачастую имеют крутые высокие склоны. Относительная высота наиболее крупных из осложняющих ступеней поднятий составляет 500–700 м, а самая большая из них (гора Рогоцкого) возвышается более чем на 1000 м над окружающим пространством. Абсолютные отметки плато и вершин подводных гор поднятия Менделеева в пределах площади листов U-1,2 составляют 1500–1800 м. Среди осложняющих положительных форм встречаются как платообразные, так и имеющие выраженные несколько заостренные и гребнеобразные вершины. Абсолютные глубины в пределах поднятия увеличиваются в северном и северо-восточном направлениях. В той части поднятия Менделеева, которая расположена севернее прохода Содружества и, не взирая на официальные границы, в морфологическом отношении принадлежит уже к хр. Альфа, напротив, имеет место постепенный подъем. Здесь отчетливо выделяются ступени с глубинами минус 2200–2400 и 2500–2600 м. Ступени осложнены небольшими возвышенностями, а в северо-восточном углу планшета на 700 м возвышается плато с отметками поверхности около минус 1200 м. Это западная из гор Рябова.

Поднятие Менделеева в целом, а также примыкающие к нему впадины представляют собой систему последовательно погруженных в северном и северо-восточном направлениях блоков континентальной окраины, которые в

рельефе выражены в виде террас и седловин, а также разделяющих их склонов от очень крутых до пологих. Высота склонов при этом составляет от 300 до 700 м. Многие из них имеют прямолинейную форму в плане. Ориентировка их в основном подчиняется двум диагональным направлениям. Склоны поднятия Менделеева нарушены каньонами и лежащими на их продолжении маргинальными каналами. По-видимому, на батиметрической основе оказалась зафиксированной лишь небольшая часть подводных долин.

Масштаб геоморфологической схемы 1 : 2 500 000 не позволяет в достаточной мере охарактеризовать все особенности рельефа, представленные на батиметрической основе и выявленные при анализе сейсмических профилей. Батиметрическая основа на площадь Поднятия Менделеева и сопредельные районы была составлена ЦКП ГУНиО МО РФ в 2005 г. в масштабе 1 : 1 000 000 по заказу ВНИИОкеангеология для картографирования и планирования экспедиционных исследований. Именно она использована и при составлении листов U-1,2 и T-1,2, но с дополнениями по результатам последующих экспедиционных работ, в том числе по данным детальных промеров многолучевым эхолотом 2010–2011 гг. [1]. Привлекались также данные с подводных лодок (экспедиция «Арктика-2012») [20, 21]. Основой геоморфологического картографирования стал анализ морфологии рельефа дна. Трактовка генезиса и возраста выделенных при этом поверхностей выполнена с существенной долей условности ввиду недостатка геологических и сейсмоакустических данных. Геоморфологические построения масштаба 1 : 2 500 000 на рассматриваемую площадь выполнены впервые. Ранее в рассматриваемой части Амеразийского бассейна они ограничивались масштабом 1 : 5 000 000 и мельче [13, 54, 131, 132 и др.]. В соответствии с действующими требованиями, геоморфологическая схема составлена по принятому для Госгеолкарты аналитическому принципу [49] в его современной системно-морфологической модификации [41, 47, 48].

Морфологический каркас рельефа образован главным образом линиями выпуклого и вогнутого перегиба поперечного профиля дна, что характерно для поверхностей ступенчатого строения. Долины оконтурены морфоизографами. Из генетических категорий на изучаемой площади выделен рельеф тектоногенной и денудационной групп.

Тектоногенный рельеф выявлен на основе анализа морфологии рельефа и сейсмических данных. Развит он очень широко. По существу, все ступени, уступы и склоны поднятия Менделеева, террасы прилегающих к нему равнин, а также проход Содружества и большинство осложняющих форм обусловлены дифференцированными тектоническими подвижками блоков, произошедшими в самое недавнее время. Они определили облик и расположение поверхностей. Их плиоцен-неоплейстоценовый возраст определяется по деформациям верхнего сейсмокомплекса, охватывающего интервал от мессиния до неоплейстоцена включительно. Океаническое осадконакопление оказывало лишь моделирующий эффект. На наклонных поверхностях, вероятно, имеют широкое развитие субаквальные склоновые и эрозионные процессы, но имеющихся в настоящее время данных недостаточно для их показа на всей площади.

Представлен тектоногенный рельеф двумя основными группами поверхностей: субгоризонтальными (вариант – пологонаклонными) и склоновыми различной крутизны. Субгоризонтальные поверхности в целях большей наглядности разделены по местоположению на две группы: а) расположенные в пределах региональных поднятий, б) расположенные в пределах региональных депрессий. Внутри первой группы они дифференцированы по абсолютным глубинам: соответственно первые на пять категорий (менее 1000, 1000–1500, 1500–2000, 2000–2500, более 2500 м), вторые представлены одной категорией с глубинами 2900–3400 м. Кроме нее, в депрессиях выделены также очень пологие наклонные поверхности и поверхности днищ грабенообразных желобов и проходов.

Субгоризонтальные поверхности в пределах поднятия Менделеева характеризуются разными размерами. Это и обширные поверхности крупных ступеней, лестница которых образует данное поднятие, и вершинные поверхности осложняющих их возвышенностей и плато. Последние являются верхними в системно-морфологической классификации и обозначены на схеме соответствующим крапом. Крупные ступени поднятия Менделеева, помимо плато, осложнены горами и возвышенностями. Значительно реже среди осложняющих элементов встречаются депрессии. Чаше это слабовогнутые поверхности, отвечающие грабенам в осадочном чехле.

Субгоризонтальная поверхность с глубинами 2900–3400 м «абиссальной» равнины Менделеева занимает обширную площадь у восточной рамки листа. Граница ее с поднятием имеет фестончатый характер, поскольку представлена сочетанием склонов северо-западной и северо-восточной ориентировок. Вблизи границ поднятия поверхность осложнена несколькими небольшими возвышенностями высотой 300–400 м. Исключением является гора Карусева, возвышающаяся на 700 м. В границах листов ни одна из этих форм не пересечена сейсмическим профилем, что не позволяет с уверенностью судить об их происхождении, но данные по аналогичным объектам на данном планшете, а также на листах Т-1,2 показывают, что, с большой долей вероятностью, рассматриваемые положительные формы обусловлены относительными поднятиями блоков акустического фундамента. В целом поверхность «абиссальной» равнины Менделеева соответствует одной из погруженных ступеней континентальной окраины. Основное поле развития пологонаклонных поверхностей расположено на «абиссальной» равнине Менделеева в центральной части площади листов на глубинах 3000–3400 м. Осложнено оно двумя изолированными горами относительной высотой около 500 м. Сейсмические профили ARC12-05 и ARC12-17 дают возможность понять, что такого рода объекты обусловлены локальным подъемом акустического фундамента без образования граничных разрывов слоев.

Поверхности днищ грабенообразных желобов и проходов имеют место в проходе Содружества на глубинах 2600–2800 м и к северу от него на глубинах 2400–2500 м. Поверхности отличаются слабовогнутым поперечным профилем. Дно в западной части прохода Содружества осложнено двумя короткими невысокими (200–300 м) грядами. На востоке на глубине 3300 м поверхность ограничена бровкой нижележащего склона, который в свою очередь опирается на дно равнины Менделеева. Таким образом, днище прохода Со-

дружества является самой низкой ступенью поднятия Менделеева, но при этом возвышается над дном соседних депрессий, то есть в морфологическом отношении является седловиной. Аналогично связана с седловиной и небольшая по размерам поверхность той же категории, расположенная севернее.

Склоновые тектоногенные поверхности представлены в границах листа четырьмя категориями, для которых характерны выраженные уклоны. Склоны, сформированные при участии разрывных дислокаций, очень крутые, отличаются наибольшими высотой (500–700 м) и крутизной. В среднем, это 4–6°, реже (например, на горе Рогоцкого) 7°, но на отдельных участках имеют и существенно больший уклон. Для склонов данной категории характерна прямолинейная форма в плане и подчиненность определенным, преимущественно диагональным, направлениям, в результате чего они образуют своеобразную решетку направлений (40° и 320–340°) и только в северной половине листа в окрестности прохода Содружества им свойственна субширотная ориентировка. Склоны, связанные с разрывами, ограничивают крупные ступени поднятия Менделеева, а также служат его ограничениями на контакте с «абиссальной» равниной Менделеева. Аналогичные склоны меньшей протяженности окаймляют некоторые плато и горы.

Более пологие склоны трех категорий (крутые, со средними уклонами и пологие) связываются в большей степени с пликативными дислокациями. Они присущи как крупным ступеням, так и отдельным, обособленным, небольшим по размерам положительным формам. Распространены широко. Высота их составляет 300–500 м, реже 700 м. Часто осложнены подводными каньонами; так же как склоны, обусловленные дизъюнктивами, характеризуются преимущественно диагональными простираниями. Формирование таких склонов происходит как при подъеме отдельных блоков акустического фундамента, который не сопровождается разрывами, а создает флексуры в осадочном чехле, так и неравномерном подъеме и перекосе блоков.

Денудационный рельеф распространен ограниченно, в основном на склонах поднятия Менделеева и связан с субкавальными эрозионными и эрозионно-гравитационными процессами. Будучи узколокализованными, они обуславливают формирование подводных каньонов. Ввиду мелкого масштаба схемы, склоны каньонов показаны на ней единым полем без разделения линией тальвега. Другая категория поверхностей этой группы характеризуется вогнутой формой в плане и обычно большей по размерам площадью. Эти склоны опираются на каньоны и подрезаются ими. В их формировании большую роль, по-видимому, играют гравитационные процессы. Уклоны и тех, и других склонов крутые или средние. Батиметрическая основа дает об этом лишь самые общие представления. Характер поверхности, нарушенной эрозионными и связанными с ними гравитационными процессами, виден на сейсмическом профиле ARC12-05. Возраст склонов данной группы – плиоцен-неоплейстоценовый, что соответствует времени формирования осложняемых ими склоновых поверхностей.

По имеющимся представлениям, заложению поднятий и впадин Центрально-Арктической области поднятий предшествовал этап спокойного развития с аккумуляцией морских осадков. Начавшееся в послемессинское время дробление территории на отдельные блоки и их неравномерное проседа-

ние, более интенсивное в котловинах и имевшее меньшие амплитуды на поднятиях, привели к созданию современной морфоструктуры данной области. На этом фоне локальные подвижки более мелких блоков и магматизм обеспечили создание осложняющих форм. Морфоструктура поднятия Менделеева на рассматриваемой площади контролируется преимущественно диагональными системами нарушений. Среди последних наиболее ярко проявлены северо-западные. Возникновение склонов и перепады глубин обусловили развитие гравитационных и эрозионных процессов разной интенсивности.

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

История геологического развития региона, зафиксированная в вещественном составе, условиях формирования и соотношениях геологических образований, подразделяется на два крупных этапа: доокеанический и синокеанический. В доокеаническом этапе можно выделить три подэтапа: раннепротерозойский (карельский), раннепалеозойский (кембрий–ранняя пермь) и позднепермский–раннемеловой. Синокеанический этап логично подразделяется на три подэтапа: апт-альбский, позднемеловой и кайнозойский.

О наличии в регионе докембрийских, палеозойских и юрско-меловых образований можно судить лишь по донному каменному материалу, встречающемуся на склонах подводных гор поднятия Менделеева и хр. Альфа. Об обстановках, господствовавших в раннепротерозойский этап, трудно судить из-за высокой степени метаморфизма горных пород этого возраста. Палеозойский этап в палеогеографическом плане характеризовался морскими мелководными условиями. Высокодинамичная обстановка способствовала глубокому химическому распаду исходных пород и обогащению осадков устойчивыми минералами. Это был бассейн, занимавший большую часть территории современного Северного Ледовитого океана [26]. По своему характеру он был сходен с рифейско-палеозойскими бассейнами древних платформенных областей Северной Америки, Сибири, Восточной Европы.

Позднепермский–раннемеловой этап развития характеризуется резкой сменой условий осадконакопления и, как следствие, сменой карбонатного и терригенно-карбонатного осадконакопления на терригенное. Мезозойские отложения скорее всего относятся к континентальным и прибрежно-морским образованиям. Залегают они на подстилающих породах, по-видимому, с размывом, о чем свидетельствуют переотложенные многочисленные полиморфиды девонско-каменноугольного возраста, а перекрываются раннемеловыми–кайнозойскими отложениями. По крайней мере, начиная с баррема [96], начинается структурное оформление глубоководных котловин, окружающих поднятие Менделеева и хр. Альфа.

В апте–альбе в пределах региона происходит накопление осадков, судя по всему – мелководных. Скважиной в приполюсной части хр. Ломоносова вскрыты уплотненные пески, песчаники и аргиллиты. Позднемеловые обстановки в районе характеризовались мелководными неритовыми условиями. По всей видимости, это – время заложения и развития горст-грабенных структур как на поднятиях, так и в котловинах, кроме того – время оформления

разломных зон, очертивших структуры первого порядка: котловину Подводников, поднятие Менделеева, хр. Альфа, впадины Менделеева и Чукотскую и др. Заполнение осадками грабенных поднятий началось в апт-альбское время и закончилось полной компенсацией последних уже в палеоценовое время. Во впадинах апт-альбские осадки накапливались в виде непрерывной толщи. Это время мощного магматизма, по всей территории произошло внедрение крупных интрузивных тел долеритов. По всей видимости, кроме дайкового комплекса развивались согласные интрузивные тела, внедрявшиеся в более древние слои осадочных пород. Во многих местах магма прорвалась к поверхности, образовав вулканические платообразные и конусовидные поднятия. Накапливались мощные вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи, уверенно диагностирующиеся на сейсмических профилях по характерной волновой картине [79]. Обширные поля платобазальтов отчетливо выражены в аномальном магнитном поле. Этап вулканического осадконакопления на рубеже кайнозоя сменился эрозией и выравниванием рельефа в пределах отрогов современных поднятий и хребтов. Перерыв в осадконакоплении на поднятиях оценивается по-разному: от 15 [78] до 1–2 млн лет [23]. Так или иначе, образовались выровненные поверхности горстовых структур. На Лаптевоморском шельфе, островной и материковой суше это время характеризуется режимом пенепленизации и формированием кор химического выветривания. Коры выветривания представлены пестроокрашенными глинами, резе глинами с дресвой и щебнем подстилающих пород. Максимальная мощность их на шельфе, вскрытая скважиной в проливе между Ляховскими островами, составляет 23 м [36]. В это же время в глубоководных впадинах осадконакопление продолжается, формируется комплекс палеоценовых осадков, отсутствующих на хребтах и поднятиях.

Отложения кайнозойского возраста представлены формационно единым комплексом глин и диатомитов, в различной степени алевритистых с маломощными линзами тонкопесчаного материала, рассеянной мелкой галькой, многочисленными остатками микроорганизмов и микроводорослей. Поздний палеоцен ознаменовался началом новой трансгрессии, накапливались глинисто-алевритовые осадки. Т. Мур и др. [108] на построенной кривой погружения хр. Ломоносова показывают смену мелководных условий осадконакопления более глубоководными (открытый шельф) и началом общего погружения этой области. Меняется состав осадков, в это время накапливаются биокремнистые илы, что указывает на высокопродуктивные неритовые условия. Для осадков характерно обилие органических остатков, в том числе и типично пресноводной формы *Azolla* [78]. Все это свидетельствует о том, что в кайнозойское время рассматриваемая территория вплоть до олигоцена была занята довольно мелководным опресненным палеобассейном.

Новый перерыв в осадконакоплении фиксируется на поднятиях между верхнеэоценовой и миоценовой частями разреза. Начало интенсивного формирования глубоководных впадин и соседствующих поднятий и хребтов относится к рубежу поздний олигоцен–ранний миоцен и связано с неравномерным по площади постепенным углублением бассейна и сменой мелководных осадков глубоководными. Образование морфоструктуры шло в условиях общего неравномерного погружения, определявшегося системой разломов, раз-

бивших территорию на блоки. Амплитуда и скорость погружения тех из них, которые впоследствии остались положительными морфоструктурами, была существенно меньшей по сравнению с активно проседавшими соседними блоками глубоководной котловины. В целом же это была своеобразная система структур, состоящая из параллельно ориентированных подводных грабен и горстов, местами компенсированных осадками, а амплитуды их погружения приблизительно соответствовали современной глубине бассейна.

Ранний миоцен – это время раскрытия пролива Фрама и активного водообмена между Северным Ледовитым океаном и Атлантикой. В целом миоцен ознаменовался обширной морской трансгрессией, при этом произошел также первый в позднем кайнозое обмен фауной между Арктическим бассейном и Тихим океаном. В океанических впадинах, начиная с этого времени, идет непрерывное пелагическое осадконакопление.

Плиоцен-четвертичный этап характеризуется похолоданием климата и дальнейшим углублением океанических впадин. Накапливаются нефелоидные глубоководные илы, отложения мутьевых потоков, контуриты и т. д. Определенный вклад в осадконакопление вносят паковые льды и айсберги, поставляющие на дно океана материал ледового разноса.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

Акватория листов U-1,2 характеризуется исключительно низким уровнем геолого-геофизической изученности и практически полным отсутствием прямых сведений о вещественном составе осадочного чехла, его возрастном диапазоне, степени катагенетической преобразованности, датировке и количественном диапазоне несогласий в разрезе, не говоря уже о признаках нефтегазоносности. Поэтому возможна лишь самая предварительная оценка нефтегазоносности изученной акватории, позволяющая выполнить достаточно грубое разделение акватории на площади с различными перспективами. Использовать для этого разделения можно лишь общую мощность осадочного чехла (понимая под ним апт-альбские нижнемеловые и вышележащие отложения) и вероятное отрицательное воздействие на его нижнюю часть лавовых излияний (апт-альбского возраста). В результате практически вся площадь листа является бесперспективной в отношении нефтегазоносности в связи с тем, что мощность осадочного чехла составляет менее 2 км. Лишь в юго-восточном углу листов U-1,2, где мощность осадочных отложений превышает 2 км, выделен перспективный участок, плотность ресурсов углеводородов в его пределах не может быть оценена количественно.

Вещественный состав осадочного чехла, с учетом результатов бурения на хр. Ломоносова и геологического изучения арктических островов, как следует из гл. «Стратиграфия», представляется в следующем виде.

Отложения апт-альбского яруса (ССК-III), с несогласием залегающие на акустическом фундаменте, представлены глинами, алевролитами и алевролитами, песками, песчаниками с прослоями и линзами конгломератов, возможны пласты каменного угля. Мощность – от 0 до 1000 м и более. На отдельных участках в составе комплекса предполагаются вулканогенно-осадочные и эффузивные породы.

Верхнемеловые отложения (ССК-II₂) сложены аргиллитоподобными глинами и алевролитами с прослоями песков и галечников, редко – песчаников и бурых углей. Мощность – до 2000 м (в юго-западном углу листа).

Палеоценовый комплекс (ССК-II₁) представлен угленосными песками и слаболитифицированными песчаниками и аргиллитами мощностью около 500 м.

Эоцен-олигоценные отложения (ССК-I₂) – это морские и прибрежно-морские темноцветные глинистые образования с пиритовыми конкрециями мощностью от 500 до 1100 м.

Неоген-четвертичные отложения (ССК-I₁) мощностью от 10 до 100 м и более, предположительно, представлены алевропелитами.

В пределах глубоководных впадин все перечисленные ССК залегают согласно, а разрывные нарушения не распространяются выше палеоценового комплекса (ССК-II₁).

Исходя из изложенного, в разрезе поднятия Менделеева можно предположить развитие нефтегазоматеринских, коллекторских и изолирующих толщ. При этом широко распространены глинистые нефтегазоматеринские и изолирующие толщи, тогда как коллекторы как будто бы более характерны для нижних интервалов разреза.

Поскольку изучение региона только на начальном этапе, сложно говорить о типах возможных ловушек углеводородов, но уже имеющиеся данные позволяют предположить развитие ловушек разнообразных типов (тектонически экранированных; литологических; связанных с несогласиями на склонах поднятия Менделеева и др.). Говорить о широком распространении структурных ловушек пока нет никаких оснований.

С учетом известной «растянутости» зон катагенеза рассеянного органического вещества в районах с мощным мезозойско-кайнозойским осадконакоплением, в которых кровля главной зоны нефтеобразования («нефтяного окна») находится на глубинах 3–4 км и более, можно предположить преимущественно газовый состав углеводородных ресурсов в недрах оцениваемой акватории.

Количественная оценка углеводородных ресурсов этой площади при существующем уровне изученности представляется преждевременной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе учтены крайне важные для картируемой области геолого-геофизические данные экспедиций «Арктика-2011» и «Арктика-2012», которые составили основу для геологического расчленения разреза осадочного чехла и пород фундамента поднятия Менделеева. Кроме того критически рассмотрены все существующие сейсмические модели строения осадочного чехла региона. Подготовлены дополнения в Океанскую серийную легенду. Выполненная геологическая интерпретация всего объема сейсмических данных логически увязана с сейсмическими данными по смежным областям, а также по системе корреляционных ходов с реперными геологическими районами.

По результатам комплексного геофизического моделирования и геологической интерпретации уточнены границы тектонических структур поднятия Менделеева. Построена согласованная геолого-геофизическая модель строения. Впервые достоверно на основании анализа новейших высокоразрешающих сейсмических данных установлены мощности осадочного чехла и положение поверхности фундамента. На территории листов U-1,2 проведено структурно-тектоническое районирование, выделены и закартированы районы, различающиеся строением осадочного чехла.

В осадочном чехле поднятия Менделеева выделены следующие сейсмостратиграфические комплексы: 1) апт-альбский; 2) верхнемеловой; 3) палеоценовый; 4) эоцен-олигоценый; 5) миоцен-голоценовый. В составе последнего по результатам сейсмоакустического профилирования предположительно выделяются восемь подразделений морских нефелоидных и декливиальных образований.

Основными геологическими реперами при стратиграфическом расчленении осадочного чехла являются палеоценовое и, в меньшей степени, олигоценое несогласия, коррелируемые с отражающими границами А и D₁ соответственно. Кроме того в составе пород акустического фундамента фиксируется преломляющая граница Ф_{кр}, разделяющая породы акустического фундамента (т. н. «промежуточный слой») на преимущественно карбонатный (кембрий–нижняя пермь) и терригенный (верхняя пермь–неоком) комплексы пород. Эти комплексы отнесены нами к складчатому фундаменту. Характер складчатости – неполный, со слабыми пликативными и дизъюнктивными дислокациями, без регионального метаморфизма. Базируясь на комплексной интерпретации комплекса геолого-геофизических данных, закартированы два разновозрастных комплекса основных магматических образований (базальтов

и долеритов). На основании этого высказано предположение о том, что последние широко развиты в пределах площади листов, однако не имеют здесь сплошного распространения, предполагаемого по некоторым современным моделям.

По имеющимся представлениям, заложению поднятия Менделеева и окружающих океанических впадин предшествовал этап тектонического покоя с устойчивым осадконакоплением. Последующее дробление на отдельные блоки и их неравномерное проседание, более интенсивное в котловинах и имевшее меньшие амплитуды в районе поднятия Менделеева и хр. Альфа, привели к созданию современной тектонической структуры данной области. Разнонаправленные тектонические движения привели к широкому развитию гравитационных и эрозионных процессов разной интенсивностью, которые активизировались в периоды регрессий, когда источники осадочных масс становились ближе к области осадконакопления. Последняя значительная регрессия и обусловленная ею активизация гравитационных процессов имели место в позднем неоплейстоцене (сарганское время). По мере развития голоценовой трансгрессии активность гравитационных процессов в глубоководном бассейне несколько снизилась, в настоящее время вся площадь дна покрыта глубоководными илами. Материалы сейсмического профилирования показывают, что неотектоническая активность в регионе имела место и в самое недавнее время, поскольку ряд нарушений, зафиксированных в фундаменте и осадочном чехле, проявлен в современном рельефе глубоководных котловин и склонов поднятия Менделеева и Чукотского плато.

На основании геоморфологического анализа, в пределах площади листов к основным типам рельефа относятся тектоногенный, денудационный, денудационно-аккумулятивный и аккумулятивный.

История геологического развития региона, зафиксированная в вещественном составе, условиях формирования и соотношения геологических образований, подразделяется на два крупных этапа: доокеанический и синокеанический. Каждый из этих этапов подразделяется на подэтапы: раннепротерозойский (карельский), раннепалеозойский (кембрий–ранняя пермь), позднепермский–раннемеловой; апт-альбский, позднемеловой и кайнозойский. О наличии в регионе докембрийских, палеозойских и юрско-меловых образований можно судить лишь по донному каменному материалу, встречающемуся на склонах подводных гор поднятия Менделеева.

На базе комплексного рассмотрения всего объема данных в пределах изучаемой области закартированы малоперспективные и бесперспективные на углеводороды земли. Однако количественная оценка углеводородного потенциала требует более детального изучения вновь полученных сейсмических данных двух последних экспедиций: «Арктика-2011» и «Арктика-2012».

Вместе с тем ряд вопросов геологического строения района остается открытым.

Важной является проблема генезиса т.н. «промежуточного слоя» – толщи пород, залегающей ниже поверхности акустического фундамента. По существующим геофизическим данным пока можно лишь предположить, что мы имеем дело со слабо деформированными комплексами фундамента и платформенного чехла древнего континентального блока. Нельзя исключать воз-

можной гетерогенности т.н. «промежуточного комплекса» пород, как по возрасту складчатости, так и вещественному составу слагающих его горных пород.

Второй проблемой, связанной с проведением внешней границы континентального шельфа Российской Федерации, является проблема генезиса донно-каменного материала, получаемого в глубоководной части Арктического бассейна при пробоотборе. Без решения этого вопроса невозможно продолжать изучение каменных обломков, отобранных в экспедициях. Не вдаваясь в эту весьма дискуссионную тематику, хотелось бы отметить, что авторы настоящей работы придерживаются мнения о гетерогенном составе обломков. Мы считаем, что в пробах в различной степени присутствуют обломки как эдафогенного, так и дрифтового генезиса. Их соотношение определяется в большей степени морфологическим положением точки пробоотбора и близостью коренных выходов консолидированных пород фундамента. Материалы экспедиции «Арктика-2012» однозначно показали наличие коренных выходов скальных пород на поднятии Менделеева, существование которых еще недавно ставилось под сомнение. Не имея к настоящему моменту очевидных критериев для разделения дрифтовых и эдафогенных обломков, мы чисто статистически оцениваем как весьма высокую вероятность местного происхождения части обломков, поднятых при пробоотборе на поднятии Менделеева и хр. Альфа.

Таким образом, район северной части поднятия Менделеева, хр. Альфа, впадины Менделеева впервые представлен на обобщающем комплексе современной геологической основы. На базе обобщения всего доступного геолого-геофизического материала изучено геологическое строение и тектоническая структура региона. Несмотря на очень слабую и крайне неравномерную изученность района и неоднозначность интерпретации, составлен комплект обязательных карт, в которых отражены черты строения всей площади листов U-1,2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная

1. *Алексеев С. П., Зеньков А. Ф., Курсин С. Б., Ставров К. Г.* Батиметрические исследования ОАО «ГНИНГИ» в центральной части Арктики // *Навигация и гидрография.* – 2010. – № 30. – С. 9–17.
2. *Андреева И. А., Басов В. А., Курпьянова Н. В., Шилов В. В.* Возраст и условия формирования донных осадков в районе поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // *Мат-лы по фанерозою полярных областей и центральной части Срединно-Атлантического хребта (флора, фауна и биостратиграфия).* Труды ВНИИОкеангеология. Т. 211. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 131–152.
3. *Атлас Арктики.* – Москва: Изд-во Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1985. – 204 с.
4. *Атлас океанов. Северный Ледовитый океан.* – М.: Изд-во ГУНиО, 1980. – С. 18–153.
5. *Богданов Н. А.* Тектоника Арктического океана // *Геотектоника.* – 2004. – № 3. – С. 13–30.
6. *Богдановский О. Г., Силантьев С. А., Карпенко С. Ф., Минеев С. Д., Савостин Л. А.* Древние мантийные ксенолиты в молодых эффузивах о. Жохова (архипелаг Де-Лонга) // *ДАН СССР.* – 1993. – Т. 330. – № 6. – С. 750–753.
7. *Вержбицкий Е. В., Лобковский Л. И., Бяков А. Ф., Кононов М. В.* Генезис и возраст хребтов Альфа-Менделеева и Ломоносова (Амеразийский бассейн) // *Океанология.* – 2013. – Т. 53. – № 1. – С. 98–108.
8. *Верниковский В. А., Морозов А. Ф., Петров О. В., Травин А. В., Кацубин С. Н., Шокальский С. П., Шевченко С. С., Петров Е. О.* Новые данные о возрасте долеритов и базальтов поднятия Менделеева: к проблеме континентальной коры в Северном Ледовитом океане // *Докл. РАН.* – 2014. – Т. 454. – № 4. – С. 431–435.
9. *Виноградов В. А., Каменева Г. И., Явищ Г. П.* О Гиперборейской платформе в свете новых данных по геологическому строению острова Генриетты // *Тектоника Арктики,* вып. 1. – Л.: НИИГА, – 1975. – С. 21–25.
10. *Виноградов В. А., Лопатин Б. Г., Бурский А. З., Гусев Е. А., Морозов А. Ф., Шкарубо С. И.* Основные итоги геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 Арктического шельфа России // *Разведка и охрана недр.* – 2005. – № 6. – С. 45–52.
11. *Геологическое строение и геоморфология Северного Ледовитого океана в связи с проблемой внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Арктическом бассейне /* Под ред. И. С. Грамберга и А. А. Комарицына. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. – 117 с.
12. *Геология СССР. Том XXVI. Острова Советской Арктики (геологическое описание) /* Глав. ред. А. В. Сидоренко. – М.: Недра, 1970. – 584 с.
13. *Геоморфологическая карта Северного Ледовитого океана и его побережий. Масштаб 1 : 5 000 000 /* Гл. ред В. Д. Дибнер. – Л.: НИИГА, 1966.
14. *Глебовский В. Ю., Зайончек А. В., Каминский В. Д., Мащенко С. П.* Цифровые базы данных и карты потенциальных полей Северного Ледовитого океана // *Российская Арктика:*

- геологическая история, минерагения, геоэкология. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. – С. 134–141.
15. Глебовский В. Ю., Астафурова Е. Г., Черных А. А., Корнева М. С., Каминский В. Д., Поселов В. А. Мощность земной коры в глубоководной части Северного Ледовитого океана: результаты 3D гравитационного моделирования // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 3. – С. 327–344.
16. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист S-53–55 – Новосибирские острова. Объяснительная записка. – СПб., 1999. – 208 с.
17. Гуревич Н. И., Мащенко С. П., Бычкова О. Г., Абельская А. А. Новые сведения об эволюции Американо-Северного Ледовитого бассейна, Северный Ледовитый океан, по результатам предварительной идентификации магнитных аномалий // Российский геофизический журнал. – 2003. – № 31–32. – С. 37–45.
18. Гусев Е. А., Максимов Ф. Е., Новихина Е. С., Кузнецов В. Ю., Левченко С. Б., Жеребцов И. Е., Баранова Н. Г. К вопросу о стратиграфии донных осадков поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология. География. – 2012. – Вып. 4. – С. 102–115.
19. Гусев Е. А., Максимов Ф. Е., Кузнецов В. Ю., Басов В. А., Новихина Е. С., Курпирянова Н. В., Левченко С. Б., Жеребцов И. Е. Стратиграфия донных осадков поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Докл. РАН. – 2013. – Т. 450. – № 5. – С. 573–578.
20. Гусев Е. А., Лукашенко Р. В., Попко А. О., Рекант П. В., Миролюбова Е. С., Пяткова М. Н. Новые данные о строении склонов подводных гор поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Докл. РАН. – 2014. – Т. 455. – № 2. – С. 184–188.
21. Гусев Е. А. Камни на дне Северного Ледовитого океана // Природа. – 2014. – № 8. – С. 31–38.
22. Данилов И. Д., Теплов Е. В., Чугунов А. Б., Беляева Н. В., Хусид Т. А., Вирина Е. И., Полякова Е. И. Результаты палеогеографического изучения донных осадков центральной части Северного Ледовитого океана (хребет Менделеева) // Океанология. – Т. 31. – Вып. 1. – 1991. – С. 108–116.
23. Деревянко Л. Г., Гусев Е. А., Крылов А. А. Палинологическая характеристика меловых отложений хребта Ломоносова // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2009. – № 2(82). – С. 78–84.
24. Заманский Ю. Я., Иванова Н. Н., Лангинен А. Е., Сорокин М. Ю. Сейсмические исследования в экспедиции «Арктика-2000» // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. Вып. 4. – С. 11–24.
25. Заманский Ю. Я., Иванова Н. Н., Лангинен А. Е., Сорокин М. Ю. Сейсмические исследования в экспедиции «Арктика-2000» // Физика Земли. – 2003. – № 6. – С. 21–32.
26. Кабаньков В. Я., Андреева И. А., Иванов В. Н., Петрова В. И. О геотектонической природе системы Центрально-Арктических морфоструктур и геологическое значение донных осадков в ее определении // Геотектоника. – 2004. – № 6. – С. 33–48.
27. Кабаньков В. Я., Андреева И. А., Иванов В. Н. О происхождении донных осадков, поднятых на геотраверзе «Арктика-2000» в Северном Ледовитом океане (район поднятия Менделеева) // Докл. Академии наук. – 2004. – Т. 399. – № 2. – С. 224–226.
28. Кабаньков В. Я., Андреева И. А., Крупская В. В., Каминский Д. В., Разуваева Е. И. Новые данные о составе и происхождении донных осадков южной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Докл. Академии наук. – 2008. – Т. 419. – № 5. – С. 653–655.
29. Кабаньков В. Я., Андреева И. А. Современные осадки восточной части Северного Ледовитого океана и их геологическое значение // Записки Горного института. – 2008а. – Т. 176. – С. 23–25.
30. Кабаньков В. Я., Андреева И. А., Лопатин Б. Г. Геология Американо-Северного Ледовитого бассейна // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2012. (Тр. ВНИИОкеангеология. Т. 223. Вып. 8.). – С. 30–40.
31. Капитонов И. Н., Петров О. В., Шевченко С. С., Гольцин Н. А., Беляцкий Б. В., Прасолов Э. М., Лохов К. И., Родионов Н. В., Пресняков С. Л., Лепехина Е. Н., Береж-

ная Н. Г., Балашова Ю. С., Антонов А. В., Сергеев С. А. Изотопно-геохимические и геохронологические исследования цирконов пелагических илов из района Арктических хребтов Ломоносова и Альфа-Менделеева // Региональная геология и металлогения. – 2014. – № 60. – С. 5–20.

32. Карасик А. М. Основные особенности истории развития и структуры дна Арктического бассейна по аэромагнитным данным // Морская геология, седиментология, осадочная петрография и геология океана. – Л.: Недра, 1980. – С. 178–193.

33. Кашубин С. Н., Петров О. В., Андросов Е. А., Морозов А. Ф., Каминский В. Д., Поселов В. А. Карта мощности земной коры Циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 46. – С. 5–13.

34. Кашубин С. Н., Павленкова Н. И., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Шокальский С. П., Эринчек Ю. М. Типы земной коры циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 5–20.

35. Кашубин С. Н., Петров О. В., Артемьева И. М., Морозов А. Ф., Вяткина Д. В., Голяшева Ю. С., Кашубина Т. В., Мильштейн Е. Д., Рыбалка А. В., Эринчек Ю. М., Сакулина Т. С., Крупнова Н. А. Глубинное строение земной коры и верхней мантии поднятия Менделеева по профилю ГСЗ «Арктика-2012» // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 65. – С. 16–35.

36. Ким Б. И., Слободин В. Я. Основные этапы развития Восточно-Арктических шельфов России и Канадской Арктики в палеогене и неогене // Геология складчатого обрамления Американо-Северного суббассейна. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 1991. – С. 104–116.

37. Киселев Ю. Г. Глубинная геология Арктического бассейна. – М.: Недра, 1986. – 224 с.

38. Котляков В. М., Комарова А. И. География: понятия и термины. Пятиязычный академический словарь. – М., 2007. – 856 с.

38а. Кременецкий А. А., Костицын Ю. А., Морозов А. Ф., Рекант П. В. Источники вещества магматических пород поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) по изотопно-геохимическим данным // Геохимия. – 2015. – № 6. – С. 487–501.

39. Крылов А. А., Шилов В. В., Андреева И. А., Миролюбова Е. С. Стратиграфия и условия накопления верхнечетвертичных осадков северной части поднятия Менделеева (американо-Северный бассейн Северного Ледовитого Океана) // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2011. – № 2(88). – С. 7–22.

40. Кузьмичев А. Б., Александрова Г. Н., Герман А. Б. Апт-альбские угленосные отложения на о. Котельный (Новосибирские острова): новые данные о строении разреза и интрузивном вулканизме // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2009. – Т. 17. – № 5. – С. 69–94.

41. Ласточкин А. Н. Системно-морфологическое основание наук о Земле (геотопология, структурная география и общая теория геосистем). – СПб.: Изд-во НИИХИ, 2002. – 762 с.

42. Ласточкин А. Н., Нарышкин Г. Д. Орографическая схема Северного Ледовитого океана // Вестник ЛГУ. – Сер. 7. – 1989. – Вып. 2. – С. 45–54.

43. Ласточкин А. Н., Нарышкин Г. Д. Новые представления о рельефе дна Северного Ледовитого океана // Океанология. – 1989. – Т. XXIX. – Вып. 6. – С. 968–973.

44. Лисицын А. П. Ледовая седиментация в Мировом океане. – М.: Наука, 1994. – 448 с.

45. Лисицын А. П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. – 1994. – Т. 34. – № 5. – С. 735–747.

46. Мащенко С. П., Зайончек А. В. Мощность земной коры Центрально-Арктического бассейна по результатам трехмерного гравитационного моделирования // Геологическое строение и геоморфология Северного Ледовитого океана в связи с проблемой внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Арктическом бассейне. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. – С. 85–93.

47. Методика геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона Российской Федерации применительно к задачам Госгеолкарты-1000. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. – 38 с.

48. Методическое руководство по геоморфологическому картографированию дна акваторий (морского и океанического дна) в комплекте Гостеолкарты-1000/3. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 49 с.

49. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третьего поколения). Версия 1.2. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 178 с.

50. Морозов А. Ф., Петров О. В., Шокальский С. П., Каиубин С. Н., Кременецкий А. А., Шкатов М. Ю., Каминский В. Д., Гусев Е. А., Грикуров Г. Э., Рекант П. В., Шевченко С. С., Сергеев С. А., Шатов В. В. Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области Центрально-Арктических поднятий // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 53. – С. 34–55.

51. Морозов А. Ф., Шкатов М. Ю., Корнеев О. Ю., Каиубин С. Н. Комплексная геолого-геофизическая экспедиция «Арктика-2012» по обоснованию континентальной природы поднятия Менделеева в Северном Ледовитом океане // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 3. – С. 22–27.

52. Объяснительная записка к картам Арктического бассейна: Орографическая карта Арктического бассейна, Рельеф Северного Ледовитого океана. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 1999. – 38 с.

53. Океанографическая энциклопедия. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 631 с.

54. Орографическая карта Арктического бассейна. Масштаб 1 : 5 000 000 / Отв. ред. И. С. Грамберг, Гл. ред. Г. Д. Нарышкин. – Хельсинки, Карттакесус, 1995.

55. Петров К. М. Биогеография с основами охраны биосферы. – СПб., Изд-во С.-Петербургского Университета, 2001. – С. 259–262.

56. Пискарев А. Л. Строение фундамента Евразийского бассейна и центральных хребтов Северного Ледовитого океана // Геотектоника. – 2004. – № 6. – С. 49–66.

57. Пискарев А. Л., Андреева И. А., Гуськова Е. Г. Палеомагнитные данные о скорости осадконакопления в районе поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Океанология. – 2013. – № 5. – С. 694–704.

58. Пискарев А. Л., Элькина Д. В. Скорость плиоцен-четвертичного осадконакопления в районе поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) по данным палеомагнитного изучения колонок донных осадков // Каротажник. – 2014. – № 5. – С. 3–16.

59. Поселов В. А., Верба В. В., Жолондз С. М. Типизация земной коры Центрально-Арктических поднятий Северного Ледовитого океана // Геотектоника. – 2007. – № 4. – С. 48–59.

60. Поселов В. А., Буценко В. В., Каминский В. Д., Саккулина Т. С. Поднятие Менделеева (Северный Ледовитый океан) как геологическое продолжение континентальной окраины Восточной Сибири // Докл. Академии наук. – 2012. – Т. 443. – № 2. – С. 232–235.

61. Поселов В. А., Жолондз С. М., Трухалев А. И., Косьюк М. К., Поселова Л. Г., Буценко В. В., Павленкин А. Д., Верба В. В., Ким Б. И. Карта мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона (Тр. ВНИИОкеангеология. Т. 223. Вып. 8). – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2012. – С. 8–14.

62. Поселов В. А., Павленкин А. Д., Погребницкий Ю. Е., Буценко В. В., Сорокин М. Ю. Структура и эволюция арктической литосферы // Геологическое строение и геоморфология Северного Ледовитого океана в связи с проблемой внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Арктическом бассейне / Науч. ред. И. С. Грамберг, А. А. Комарицын, отв. ред. В. Д. Каминский. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. – С. 94–109.

62а. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 41. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. – 48 с.

63. Пуцаровский Ю. М. Тектоника Северного Ледовитого океана // Геотектоника. – 1976. – № 2. – С. 3–14.

64. Рахмонов У. Д. Криноидеи нижнего–среднего девона Зеравшано-Гиссарской горной области (Узбекистан) // Новости палеонтологии и стратиграфии, 2011. Вып. 15. – С. 227–237.

65. *Рекант П. В., Гусев Е. А., Черных А. А., Зинченко А. Г. и др.* Геологическая карта. Масштаб 1 : 1 000 000. Серия Океанская. Лист U-53-56 – хр. Ломоносова. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 66 с.

66. *Рекант П. В., Пяткова М. Н., Николаев И. Д., Талденкова Е. Е.* Донно-каменный материал отрога Геофизиков как петротип фундамента южной части хребта Ломоносова (Северный Ледовитый океан) // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 4. – М.: ГЕОС, 2012. – С. 29–40.

67. Российские арктические геотраверсы (Труды НИИГА–ВНИИОкеангеология, т. 220) / Науч. ред. В. А. Посёлов, Г. П. Аветисов, В. Д. Каминский. – СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология», 2011. – С. 48–62 – 79–107.

68. *Сакс В. Н.* Условия образования донных осадков в Арктических морях СССР. Тр. НИИГА, т. XXXV. – Л.–М.: Изд-во Главсевморпути, 1952. – 139 с.

69. *Сергеев С. А., Пресняков С. Л., Антонов А. В., Беляцкий Б. В., Родионов Н. В., Шевченко С. С.* Первые находки палео- и мезоархейских цирконов в породах втурибассейновой шельфовых поднятия Арктики: индикатор присутствия древнейшей зрелой континентальной коры // Докл. Академии наук. – 2015. – Т. 463. – № 1. – С. 79–84.

70. *Силантьев С. А., Богдановский О. Г., Савостин Л. А., Кононова Н. Н.* Магматизм архипелага Де-Лонга (Восточная Арктика); петрология и петрохимия эффузивных пород и ассоциирующих с ними ксенолитов (острова Жохова и Вилькицкого) // Геохимия. – 1991. – № 2. – С. 267–277.

70а. *Сколотнев С. Г., Федонкин М. А., Корнийчук А. В.* Новые данные о геологическом строении юго-западной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Докл. РАН. – 2017. – Т. 476. – № 2. – С. 190–196.

71. *Трешников А. Ф., Балакиин Л. Л., Белов Н. А., Деменицкая Р. М., Дибнер В. Д., Карасик А. М., Шпайхер А. О., Шургаева Н. Д.* Географические наименования основных частей рельефа дна Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики. – 1967. – Вып. 27. – С. 5–15.

72. *Федоров П. И., Флеров Г. Б., Головин Д. И.* Новые данные о возрасте и составе вулканических пород острова Беннетта (Восточная Арктика) // Докл. Академии наук. – 2005. – Т. 400. – № 5. – С. 666–670.

73. *Филатова Н. И., Хаин В. Е.* Структуры Центральной Арктики и их связь с мезозойским Арктическим плюмом // Геотектоника. – 2009. – № 6. – С. 24–51.

73а. *Черных А. А., Астафурова Е. Г., Глебовский В. Ю., Корнева М. С., Егорова А. В., Редько А. Г.* Новые данные о тектонике поднятия Менделеева и сопредельных геоструктур // Докл. Академии наук. – 2016. – Т. 470. – № 2. – С. 194–198.

74. *Шатский Н. С.* О тектонике Арктики: Избр. труды. Т. 1. – М.: АН СССР, 1963. – С. 426–444.

75. *Шкатов М. Ю., Иванов Г. И.* Первая российская скважина на дне Северного Ледовитого океана // Океанология. – 2013. – Т. 53. – № 4. – С. 569–572.

76. *Adler R. E., Polyak L., Ortiz J. D., Kaufman D. S., Channell J-E. T., Xuan Ch., Grotto-li A. G., Sellun E., Crawford K. A.* Sediment record from the western Arctic Ocean with an improved Late Quaternary age resolution: HOTRAX core HLY0503-8JPC, Mendeleev Ridge // Global and Planetary Change. – 2009. – Vol. 68. – P. 18–29.

77. *Backman J., Moran K., McInroy D. et al.* Proceeding of Integrated Ocean Drilling Program. – 2006. – V. 302. – 169 p.

78. *Backman J., Jakobsson M., Frank M., Sangiorgi F., Brinkhuis H., Stickley C., O'Regan M., Løvlie R., Pälike H., Spofforth D., Gatta-cecca J., Moran K., King J., Heil C.* Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // Paleooceanography. – 2008. – Vol. 23. – Is. 1. – P. 1–15.

79. *Bruvold V., Kristoffersen Y., Coakley B. J., Hopper J. R., Planke S., Kandilarov A.* The nature of the acoustic basement on Mendeleev and northwestern Alpha ridges, Arctic Ocean // Tectonophysics. – 2012. – Vol. 514–517. – P. 123–145.

80. *Bruvold V., Kristoffersen Y., Bernard J., Coakley B., Hopper J. R.* Hemipelagic deposits on the Mendeleev and northwestern Alpha submarine Ridges in the Arctic Ocean: acoustic stra-

- tigraphy, depositional environment and an inter-ridge correlation calibrated by the ACEX results // *Marine Geophysical Researches*. – 2010. – Vol. 31. – Is. 3. – P. 149–171.
81. Clark D. L., Whitman R. R., Morgan K. A., Mackey S. D. Stratigraphy and glacial-marine sediments of the Amerasian Basin, Central Arctic Ocean // *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* – 1980. – № 181. – 57 pp.
82. Dove D., Coakley B., Hopper J., Kristoffersen Y. Bathymetry, controlled source seismic and gravity observations of the Mendeleev ridge; implications for ridge structure, origin, and regional tectonics // *Geophysical Journal International*. – 2010. – Vol. 183. – Is. 2. – P. 481–502.
83. Døssing A., Jackson H. R., Matzka J., Einarsson I., Rasmussen T. M., Olesen A. V., Brozena J. M. On the origin of the Amerasia Basin and the High Arctic Large Igneous Province—Results of new aeromagnetic data // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2013. – Vol. 363. – P. 219–230. doi: 10.1016/j.epsl.2012.12.013.
84. Forsberg R., Skourup H. Arctic Ocean gravity, geoid and sea-ice freeboard heights from ICESat and GRACE // *Geophysical Research Letters*. – 2005. – Vol. 32. – L21502.
85. Forsyth D. A., Asudeh I., Green A. G., Jackson H. R. Crustal Structure of the northern Alpha Ridge beneath the Arctic Ocean // *Nature*. – 1986. – Vol. 322. – P. 349–352.
86. Forsyth D. A., Morel-Huissier, Asudeh I., Green A. G. Alpha ridge and Iceland – Products of the same plume? // *Journal of Geodynamics*. – 1986. – Vol. 6. – Is. 1–4. – P. 197–214.
87. Grantz A., Clark D. L., Phillips R. L. et al. Phanerozoic stratigraphy of Northwind Ridge, magnetic anomalies in the Canada basin and the geometry and timing of rifting in the Amerasia basin // *JSA Bulletin*. – 1998. – Vol. 110. – N. 6. – P. 810–820.
88. Grantz A., Hart P. E., Childers V. A. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canadian Basin, Arctic Ocean // *Arctic Petroleum Geology. Geological Society Memoir*. – 2011. – Vol. 35. – P. 771–800.
89. Hall J. K. Geophysical evidence for ancient Sea-floor Spreading from Alpha Cordillera and Mendeleev Ridge // *Arctic Geology. Memoir. AAPG*. – 1973. – No. 19. – P. 542–561.
90. Hall J. K. Sediment waves and other evidence of paleo-bottom currents at two locations in the deep Arctic Ocean // *Sedimentary Geology*. – 1979. – Vol. 23. – P. 269–299.
91. Hegewald A., Jokat W. Tectonic and sedimentary structures in the northern Chukchi region, Arctic Ocean // *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*. – 2013. – Vol. 118. – Is. 7. – P. 3285–3296.
92. Hegewald A., Jokat W. Relative sea level variations in the Chukchi region – Arctic Ocean – since the late Eocene // *Geophysical Research Letters*. – 2013. – Vol. 40. – Is. 5. – P. 803–807.
93. Herman Y. Marine geology and oceanography of the Arctic seas. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1974. – 397 pp.
94. Jakobsson M. First high-resolution chirp sonar profiles from the central Arctic Ocean reveal erosion of Lomonosov Ridge sediments // *Marine Geology*. – 1999. – Vol. 158. – P. 111–123.
95. Jakobsson M., Mayer L. A., Coakley B. et al. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO). Version 3.0. // *Geophysical Research Letters*. – 2012. – V. 39. – L12609.
96. Jackson H. R., Mudie P. J., Blanco S. M. Initial geological report on CESAR – The Canadian expedition to study the Alpha ridge, Arctic Ocean // *Geol. Surv. Canada*. – 1985. – V. 84-22. – 177 p.
97. Jokat W. Seismic investigations along the western sector of Alpha Ridge, Central Arctic Ocean // *Geophysical Journal International*. – 2003. – Vol. 152. – P. 185–201.
98. Jokat W. The sedimentary structure of the Lomonosov Ridge between 88° N and 80° N // *Geophysical Journal International*. – 2005. – Vol. 163. – P. 698–726.
99. Jokat W., Ickrath M., O'Connor J. Seismic transect across the Lomonosov and Mendeleev Ridges: Constraints on the geological evolution of the Amerasia Basin, Arctic Ocean // *Geophysical Research Letters*. – 2013. – Vol. 40. – Is. 19. – P. 5047–5051.
100. Jokat W., Weigelt E., Kristoffersen Y., Rasmussen T., Schöone T. New insights into the evolution of the Lomonosov Ridge and the Eurasian Basin // *Geophysical Journal International*. – 1995. – Vol. 122. – Is. 2. – P. 378–392.

101. *Kosko M. K., Trufanov G. V.* Middle Cretaceous to Eopleistocene Sequences on the New Siberian Islands: an approach to interpret offshore seismic // *Marine and Petroleum Geology*. – 2002. – Vol. 19. – P. 901–919.
102. *Kumar N., Granath J. V., Emmet P. A., Helwig J. A., Dinkelman M. G.* Stratigraphic and tectonic framework of the US Chukchi Shelf: exploration insights from a new regional deep-seismic reflection survey // *Arctic Petroleum Geology. Geological Society Memoirs*. – 2011. – Vol. 35. – P. 501–508.
103. *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. – Berlin, Springer-Verlag, 1999. – 636 p.
104. *Laxon S., McAdoo D.* Satellites Provide new Insight into Polar Geophysics // *EOS. Trans. AGU*. – 1998. – V. 79. – P. 69–73.
105. *Lebedeva-Ivanova N. N., Zamansky Y. Ya., Langinen A. E., Sorokin M. Yu.* Seismic profiling across the Mendeleev Ridge at 82° N: evidence of continental crust // *Geophysical Journal International*. – 2006. – Vol. 165. – P. 527–544.
106. *Märss T., Karatajūtė-Talimaa V.* Ordovician and Lower Silurian thelodonts from Severnaya Zemlya Archipelago (Russia) // *Geodiversitas*. – 2002. – Vol. 24. – Is. 2. – P. 381–404.
107. *Märss T., Wilson M. V. H., Thorsteinsson R.* Silurian and Lower Devonian thelodonts and putative chondrichthyans from the Canadian Arctic Archipelago (Cornwallis, Baillie-Hamilton, Devon, and Prince of Wales islands) // *Special Papers in Palaeontology*. – 2006. – Vol. 75. – P. 1–140.
108. *Moore T. C.* and the Expedition 302 Scientists Sedimentation and subsidence history of the Lomonosov Ridge / In Backman, J., Moran, K., McInroy, D. B., Mayer, L. A., and the Expedition 302 Scientists. Proc. IODP, 302: College Station TX (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.). doi:10.2204/iodp.proc.302.105.2006
109. *Moran K., Backmann J., Brinkhuis H., Clemens S.C. et al.* The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean // *Nature*. – 2006. – Vol. 441. – N. 7093. – P. 601–605.
110. *Mukasa S.B., Mayer L.A., Aviado K., Bryce J. et al.* Alpha/Mendelev Ridge and Chukchi Borderland ⁴⁰Ar/³⁹Ar Geochronology and Geochemistry: Character of the First Submarine Intraplate Lavas Recovered from the Arctic Ocean // *Geophysical Research Abstracts*. – 2015. – Vol. 17, EGU2015-8291-2.
111. *Not C., Hillaire-Marcel C.* Time constraints from 230Th and 231Pa data in late Quaternary, low sedimentation rate sequences from the Arctic Ocean: An example from the northern Mendeleev Ridge // *Quaternary Science Reviews*. – 2010. – Vol. 29. – P. 3665–3675.
112. *Oakey G. N., Salties R. W.* Geophysical analysis of the Alpha-Mendeleev ridge complex: Characterization of the High Arctic Large Igneous Province // *Tectonophysics*. – 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.08.005>
113. *O'Neil B.* Pliocene and Pleistocene benthic foraminifera from the Central Arctic Ocean // *Journal of Paleontology*. – 1981. – V. 55. – N. 6. – P. 1141–1170.
114. *Petrov O., Morozov A., Shokalsky S. et al.* Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // *Earth-Science Reviews*. – 2016. – V. 154. – P. 29–71.
115. *Polyak L., Curry W. B., Darby D. A., Bischof J., Cronin T. M.* Contrasting glacial/interglacial regimes in the western Arctic Ocean as exemplified by a sedimentary record from the Mendeleev Ridge // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2004. – Vol. 203. – P. 73–93.
116. *Polyak L., Bischof J., Ortiz J. D., Darby D. A. et al.* Late Quaternary stratigraphy and sedimentation patterns in the western Arctic Ocean // *Global Planetary Change*. – 2009. – Vol. 68. – P. 5–17.
117. *Sekretov S. B.* Northwestern margin of the East Siberian Sea, Russian Arctic: seismic stratigraphy, structure of the sedimentary cover and some remarks on the tectonic history // *Tectonophysics*. – 2001. – Vol. 339. – P. 353–383.
118. *Sellum E., Jakobsson M., Frank M., Kubik P. W.* Pleistocene variations of beryllium isotopes in central Arctic Ocean sediments // *Global and Planetary Change*. – 2009. – Vol. 68. – P. 38–47.
119. *Sherwood K. W., Johnson P. P., Craig J. D., Zerwick S. A. et al.* Structure and stratigraphy of the Hanna Trough, U.S. Chukchi Shelf, Alaska // *Geological Society of America Special Papers*. – 2002. – Vol. 360. – P. 39–66, doi:10.1130/0-8137-2360-4.39

120. *Stein R., Mattheissen J., Niessen F., Krylov A. et al.* Towards a better (Litho-) Stratigraphy and Reconstruction of Quaternary Paleoenvironment in the Amerasian Basin (Arctic Ocean) // *Polarforschung*. – 2010. – Vol. 79. – Is. 2. – P. 97–121.
121. *Sweeney J. F., Weber J. R., Blasco S. M.* Continental ridge in the Arctic ridges, LOREX constraints // *Tectonophysics*. – 1982. – Vol. 89. – P. 217–238.
122. *Symonds Ph. A., Eldholm O., Mascle J., Moore G. F.* Characteristics of Continental Margins P. J. Cook, Ch. M. Carleton (Ed). *Continental Shelf Limits: The Scientific and Legal Interface: The Scientific and Legal Interface* – Oxford: University Press, 2000. – P. 25–63.
123. *Vieth J.* Thelodontier-, Acanthodier- und Elasmobranchier-Schuppen aus dem Unter-Devon der Kanadischen Arktis (Agnatha. Pisces) // *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie*. – 1980. – Vol. 23. – P. 1–69.
124. *Vogt P. R., Jung W., Jakobsson M., Mayer L., Williamson M.* The Alpha Mendeleev magmatic province, Arctic Ocean: a new synthesis // *EOS*. – 2006. – Vol. 87. – Is. 36.
125. *Weber J. R.* The Alpha Ridge: Gravity, Seismic and Magnetic Evidence for a Homogeneous, Mafic Crust // *Journal of Geodynamics*. – 1986. – Vol. 6. – Is. 1–4. – P. 117–136.

Фондовая

126. *Ашихмина Е. А., Дик Г. Г. и др.* Комплексные геолого-геофизические исследования на трассе дрейфа научной станции «Северный полюс-26» в 1982–1984 гг. – Л., Фонды «ВНИИОкеангеология», 1984.
127. *Винокуров И. Ю., Сакулина Т. С. и др.* Проведение дополнительных комплексных геолого-геофизических исследований в центральной части Арктического бассейна с целью обоснования природы Центрально-Арктических поднятий, примыкающих к ним впадин и определения положения внешней границы континентального шельфа Российской Федерации. Отчет по Государственному контракту № 15/08/20-14. Фонды ОАО «Севморгео», 2013.
128. *Гапоненко Г. И., Зацепин Е. Н., Ласточкина Н. Н.* Гравиметрическая карта арктического шельфа России и прилегающих областей. Масштаб 1 : 2 500 000, 1980.
129. *Губернов А. П., Малыгин Г. В., Мурашов И. А.* Карта аномального гравитационного поля. Редукция в свободном воздухе. Масштаб 1 : 6 000 000, 1988.
130. *Деменицкая Р. М., Карасик А. М.* Геофизические данные о геологическом строении советского сектора арктического бассейна. Л., Фонды «ВНИИОкеангеология», 1964.
131. *Дундо О. П., Верба В. В.* Атлас геолого-геофизических карт Арктического глубоководного бассейна и обрамления. СПб., Фонды «ВНИИОкеангеология», 1996.
132. *Жолондз С. М., Поселов В. А., Буценко В. В.* Подготовка для представления в МИД России проекта пересмотренного представления на установление в соответствии со статьей 76 Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. Внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане (СЛО) за пределами 200 морских миль от исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря (Государственный контракт от 28 июня 2012 г. № 33/07/20-10). СПб., Фонды ВНИИОкеангеология, 2014.
133. *Заманский Ю. Я., Ашихмина Е. А., Богоявленский И. И.* Комплексные геолого-геофизические исследования на трассе дрейфа научной станции «Северный полюс-26» в 1984–1986 гг. СПб., Фонды ВНИИОкеангеология, 1986.
134. *Заманский Ю. Я., Голубков В. С., Кудрявцев Г. А. и др.* Региональные комплексные геофизические работы по изучению геологической природы земной коры Центрального Арктического бассейна (обоснование ВГКШ России в СЛО) в 1992 г. ПМГРЭ, Ломоносов, 1993.
135. *Заманский Ю. Я. и др.* Составление пакета геолого-геофизических материалов с объяснительной запиской по проблеме ВГКШ в СЛО. Ломоносов, ПМГРЭ, Фонды «ВНИИОкеангеология», 1995.
136. *Заманский Ю. Я., Зацепин Е. Н., Иванов В. Н., и др.* Комплексные геолого-геофизические исследования в высокоширотной части Арктики на НЭС «Академик Фёдоров» с

целью получения материалов для обоснования проекта Внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) в Северном Ледовитом океане (СЛО). ПМГРЭ, 2001.

137. *Звонарев В. Г., Щелованов В. Г.* Научно-технический отчет. (Том 8). Аэромагнитная съемка, выполненная в северной части Канадской котловины СЛО в 1974 г. Л., Фонды ВНИИОкеангеология, 1975.

138. *Иниакова Н. Ю. и др.* Обеспечение регистрации морских сейсморазведочных зондирований МОВ-МПВ в акватории Северного Ледовитого океана. ФГУНПП «Севморгео», СПб., 2011.

139. *Карасик А. М., Абакумов А. М.* Научно-технический отчет по аэромагнитной съемке, выполненной на хребте Менделеева и в западной части Канадской котловины Северного Ледовитого океана в 1970 г. Л., Фонды «ВНИИОкеангеология», 1971.

140. *Картелев А. А., Мурашов И. А.* Гравиметрическая карта. Редукция в свободном воздухе. Масштаб 1 : 2 500 000, 1995.

141. *Киселев Ю. Г. и др.* Строение осадочного чехла и тектоника дна Евразийского суббассейна. Отчет по теме IX.И.1 – 73/2601. Л., Фонды «ВНИИОкеангеология», 1977.

142. *Курочкин Ю. А. и др.* Научно-технический отчет по аэромагнитной съемке, выполненной в южной части хребта Менделеева и котловине Макарова Северного Ледовитого океана в 1970 г. Л., Фонды «ВНИИОкеангеология», 1971.

143. *Мащенков С. П.* Глубинное строение литосферы и тектоника Амеразийского суббассейна Северного Ледовитого океана на основе новых компьютерных геофизических карт и геотрансектов. СПб., Фонды ВНИИОкеангеология, 2000.

144. *Поселов В. А. и др.* Подготовка пакетов научно-технических материалов, включая доисследования структуры литосферы поднятий Альфа-Менделеева, к заявке по обоснованию ВГКШ России в Северном Ледовитом и Тихом океанах для представления в Комиссию ООН по границам континентального шельфа. СПб., Фонды «ВНИИОкеангеология», 2001.

145. *Рекант П. В. и др.* Отчет по объекту №: 12-7 «Создание комплекта современной геологической основы масштаба 1 : 1 000 000 листов U-57,58,59,60 (поднятие Менделеева, Северный Ледовитый океан)». СПб., Фонды ВНИИОкеангеология, 2012.

146. *Семенов Ю. П., Белов Н. А., Таманова С. В., Комаров Ю. Н.* Условия формирования современных отложений Арктического бассейна и накопления в них органического вещества. Л., НИИГА, 1971.

147. *Сколотнев С. Г.* Отчет о научно-исследовательской работе по Договору № 1 – ВГКШ «Научно-исследовательские работы по изучению образцов горных пород для целей определения геологической природы основных поднятий морского дна (поднятие Менделеева) и их принадлежности к естественным компонентам материковой окраины Евразии». ФГБУН «Геологический институт Российской академии наук». М., 2015.

148. *Соболев Н.Н., Дараган-Суцова Л.А., Зинченко В.Н. и др.* «Создание Атласа геологических структур Российской Арктики и прилегающих акваторий масштабов 1 : 5 000 000–1 : 15 000 000» – отчет о результатах работ по Государственному контракту от 17.06.2014 г. СПб., Фонды ВСЕГЕИ, 2016.

149. *Яшин Д. С., Алексеев И. А., Кошелева В. А., Поляк Л. В.* Строение, вещественный состав и геохимия донных отложений Арктических акваторий. Л., ВНИИОкеангеология, 1985.

Интернет

150. <http://www.earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/agp/index.html>

151. <http://www.ngdc.noaa.gov/gazetteer/>

152. <http://www.kosbidb2.co.kr:8080/recommend/#;>

153. http://www.un.org/Depts/los/clcs_new/documents/Guidelines/CLCS_11.htm

Породообразующие окислы и микроэлементный состав образцов пород донно-каменного материала с поднятия Менделеева (по данным силикатного анализа – в % и ICP-MS в ppm лабораторий ВСЕГЕИ и ИМГРЭ)

Номер образца	SS12-08-7m (УСО-7)	SS12-01-4m (УСО-4)	KD12-09-12d-49	KD12-09-11d-08	KD12-10-13d-2/1	KD12-10-13d-2/2	Пределы обнаружения, %
SiO ₂ (%)	50,74	58,93	44,72	45,57	48,39	46,27	0,02
TiO ₂ (%)	2,577	0,3916	0,78	0,86	1,12	1,01	0,01
Al ₂ O ₃ (%)	13,57	8,151	13,96	13,51	13,67	13,10	0,05
Fe ₂ O ₃ общ. (%)	14,4	1,821	9,69	12,06	15,28	15,03	0,01
MnO (%)	0,204	0,2683	0,17	0,11	0,22	0,24	0,01
MgO (%)	4,772	1,317	6,26	7,61	4,59	4,61	0,1
CaO (%)	8,67	14,17	8,36	6,27	8,49	7,51	0,01
Na ₂ O (%)	2,899	<,1	1,98	2,20	2,55	2,34	0,1
K ₂ O (%)	1,231	2,184	0,44	0,63	0,39	0,56	0,01
P ₂ O ₅ (%)	0,2662	0,0683	–				0,05
ппп (%)	0,553	12,6					0,1
Сумма (%)	99,9	99,9					
V (%)	0,0332	<,005	276	355	493	380	0,005
Cr (%)	0,0034	0,0055	727	330	11,1	140	0,002
Ba (%)	0,0228	<,005	142	138	128	71,1	0,005
Li (ppm)	16,2	18,1					1
Rb (ppm)	41,7	53,7	5,39	15,9	17,0	18,2	2
Cs (ppm)	0,9	1,61	0,801	0,331	0,698	0,754	0,1
Be (ppm)	1,18	<1	0,349	0,395	0,820	0,526	1
Va (ppm)	214	101	142	138	128	71,1	3
Sr (ppm)	216	116	191	170	183	188	1
Mn (ppm)	1570,8	2065,91	1326	934	1840	1579	пересчет
Ti (ppm)	15462	2349,6	6003	8197	12543	10411	пересчет
V (ppm)	381	40,3					2,5
Cr (ppm)	78,8	107	727	330	11,1	140	1
Ni (ppm)	24,2	15,7	128	132	64,6	150	1
Co (ppm)	49,6	8,57	51,7	47,6	53,7	56,1	0,5
Sc (ppm)	32,5	4,63	31,1	29,3	33,6	32,4	0,2
Ga (ppm)	23,5	8,05	17,3	18,3	23,2	21,0	0,1
Zn (ppm)	151	7,52	76,8	101	178	118	1
Pb (ppm)	5,6	10,2	5,39	0,897	1,99	1,1	1
Zr (ppm)	201	153	69,4	259	164	122	0,5
Hf (ppm)	5,32	4,1	1,81	6,02	3,76	2,70	0,01

Номер образца	SS12-08-7m (УСО-7)	SS12-01-4m (УСО-4)	KD12-09-12d-49	KD12-09-11d-08	KD12-10-13d-2/1	KD12-10-13d-2/2	Пределы обнаружения, %
Nb (ppm)	20,1	6,59	4,36	4,35	7,71	5,85	0,5
Ta (ppm)	1,29	0,49	0,340	0,304	0,535	0,407	0,1
Th (ppm)	4,47	5,01	1,31	0,823	1,10	0,498	0,1
U (ppm)	1,17	1,33	0,315	0,304	0,319	0,192	0,1
Y (ppm)	41,2	13,1	15,8	18,7	32,3	23,6	0,1
La (ppm)	23,2	17,5	7,89	6,13	10,7	6,06	0,01
Ce (ppm)	50	34,9	18,2	15,5	27,3	16,8	0,01
Pr (ppm)	6,4	3,87	2,34	2,17	3,82	2,48	0,01
Nd (ppm)	28	15	10,0	10,4	18,5	12,4	0,01
Sm (ppm)	6,89	3	2,57	3,06	5,38	3,80	0,005
Eu (ppm)	1,98	0,6	0,86	1,11	1,82	1,40	0,005
Gd (ppm)	7,4	2,57	2,84	3,49	6,16	4,44	0,01
Tb (ppm)	1,2	0,41	0,461	0,588	1,03	0,758	0,005
Dy (ppm)	7,87	2,56	2,95	3,86	6,42	4,74	0,01
Ho (ppm)	1,53	0,48	0,612	0,803	1,33	0,983	0,005
Er (ppm)	4,31	1,32	1,67	2,20	3,71	2,70	0,01
Tm (ppm)	0,61	0,2	0,238	0,328	0,540	0,389	0,005
Yb (ppm)	3,94	1,23	1,53	2,04	3,22	2,35	0,01
Lu (ppm)	0,54	0,21	0,225	0,303	0,472	0,341	0,005
Cl (ppm)	31	113					50
F (ppm)	621	193					30

П р и м е ч а н и е. Образец SS12-08-7m (УСО-7) – долерит; SS12-01-4m (УСО-4) – кварцевый метапесчаник с карбонатным цементом; KD12-09-12d-49 – габбродолерит; KD12-09-11d-08 – габбродолерит оливиновый; образцы KD12-10-13d-2/1 и KD12-10-13d-2/2 – монцогаббро.

Геохронологические определения образцов донного каменного материала, поднятого со склонов гор поднятия Менделеева и хр. Альфа в пределах площади листов U-1,2

Номер на карте	Номер образца	Лаб. №	Порода	Метод исследования	Дата, млн лет
1	KD12-08-28g-6	8129	Песчаник полимиктовый	U-Pb	1800
	»	»	»	»	2100
	»	»	»	»	2300
	»	»	»	»	2700
	»	»	»	»	3100
	»	»	»	»	3300
2	KD12-02-17d-3	8084	Алевролит	U-Pb	1600
	»	»	»	»	1643
3	KD12-02-17d-4	5654	Гранит	Rb-Sr, U-Pb	2709 ± 17
	»	»	»	»	1795 ± 9
	»	»	»	»	1795 ± 9
4	УСО-4 (SS12-01-4m)	8025	Песчаник	U-Pb	205
	»	»	»	»	660
	»	»	»	»	1452
	»	»	»	»	1935
	»	»	»	»	2428
5	KD12-10-13d-9	8090	Кварцит гранатовый	U-Pb	331,4
	»	»	»	»	407,4
	»	»	»	»	443,9
	»	»	»	»	620,7
	»	»	»	»	1030
	»	»	»	»	1291
	»	»	»	»	1522
	»	»	»	»	1679
	»	»	»	»	1809
	»	»	»	»	1958
	»	»	»	»	2002,7
	»	»	»	»	2721
6	KD12-09-12d-50	7990	Долерит	U-Pb	261,5 ± 4

**Результаты радиохимического анализа по осадкам из кернов грунтовых трубок
(номера на карте – 1 и 2)**

Станция, интервал, см	^{238}U р/мин на г	^{234}U р/мин на г	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	^{230}Th р/мин на г	^{232}Th р/мин на г	^{230}Th изб.	Возраст (Т), тыс. лет
AF-00-02, 0-3	$0,86 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,03$	$0,72 \pm 0,02$	$18,42 \pm 0,18$	$1,85 \pm 0,05$	$17,80 \pm 0,18$	$13,9 \pm 0,4$
AF-00-02, 3-10	$2,03 \pm 0,06$	$1,20 \pm 0,05$	$0,59 \pm 0,02$	$23,57 \pm 0,29$	$2,25 \pm 0,08$	$22,37 \pm 0,29$	$60,2 \pm 1,7$
AF-00-02, 12-17	$1,16 \pm 0,05$	$0,61 \pm 0,03$	$0,53 \pm 0,02$	$10,30 \pm 0,17$	$2,35 \pm 0,07$	$9,69 \pm 0,17$	$134,3 \pm 3,7$
AF-00-02, 27-34	$1,20 \pm 0,05$	$0,96 \pm 0,05$	$0,80 \pm 0,03$	$4,03 \pm 0,09$	$2,23 \pm 0,07$	$3,07 \pm 0,10$	$282,4 \pm 7,8$
AF-00-02, 34-44	$1,61 \pm 0,07$	$1,40 \pm 0,06$	$0,87 \pm 0,03$	$2,81 \pm 0,10$	$2,22 \pm 0,09$	$1,41 \pm 0,12$	$361,1 \pm 10,0$
AF-00-02, 53-63	$1,44 \pm 0,06$	$1,18 \pm 0,04$	$0,82 \pm 0,02$	$1,23 \pm 0,04$	$2,27 \pm 0,06$	$0,05 \pm 0,06$	
AF-00-02, 85-95	$1,01 \pm 0,05$	$0,86 \pm 0,04$	$0,85 \pm 0,03$	$1,18 \pm 0,04$	$2,48 \pm 0,06$	$0,32 \pm 0,06$	
AF-00-07, 5-8	$1,54 \pm 0,06$	$1,44 \pm 0,06$	$0,93 \pm 0,05$	$11,73 \pm 0,35$	$2,00 \pm 0,14$	$10,29 \pm 0,36$	$42,5 \pm 1,1$
AF-00-07, 8-14	$1,03 \pm 0,06$	$1,00 \pm 0,06$	$0,97 \pm 0,08$	$10,83 \pm 0,20$	$2,15 \pm 0,09$	$9,83 \pm 0,21$	$71,9 \pm 1,9$
AF-00-07, 14-21	$1,53 \pm 0,04$	$1,30 \pm 0,03$	$0,85 \pm 0,03$	$3,03 \pm 0,10$	$1,60 \pm 0,07$	$1,73 \pm 0,10$	$114,4 \pm 3,0$
AF-00-07, 30-38	$1,19 \pm 0,05$	$1,01 \pm 0,04$	$0,85 \pm 0,05$	$2,09 \pm 0,07$	$1,85 \pm 0,09$	$1,08 \pm 0,08$	$222,2 \pm 5,8$
AF-00-07, 48-57	$1,14 \pm 0,04$	$0,98 \pm 0,04$	$0,86 \pm 0,05$	$1,68 \pm 0,03$	$2,01 \pm 0,03$	$0,70 \pm 0,05$	$343,1 \pm 9,0$
AF-00-07, 86-89	$0,98 \pm 0,05$	$0,87 \pm 0,05$	$0,88 \pm 0,07$	$4,74 \pm 0,09$	$1,83 \pm 0,06$	$3,87 \pm 0,10$	
AF-00-07, 106-117	$1,20 \pm 0,05$	$1,03 \pm 0,04$	$0,86 \pm 0,05$	$1,80 \pm 0,05$	$1,94 \pm 0,05$	$0,77 \pm 0,06$	
AF-00-07, 160-165	$1,03 \pm 0,03$	$0,93 \pm 0,03$	$0,90 \pm 0,04$	$1,81 \pm 0,07$	$1,79 \pm 0,07$	$0,88 \pm 0,08$	
AF-00-07, 202-205	$0,69 \pm 0,03$	$0,66 \pm 0,02$	$0,95 \pm 0,05$	$1,93 \pm 0,08$	$1,57 \pm 0,07$	$1,27 \pm 0,08$	
AF-00-07, 235-245	$0,99 \pm 0,04$	$0,86 \pm 0,04$	$0,87 \pm 0,05$	$3,00 \pm 0,13$	$2,32 \pm 0,11$	$2,14 \pm 0,14$	

Примечание. Для возрастных расчетов использовались только прямые (ненормализованные) значения $^{230}\text{Th}_{\text{изб.}}$, так как не во всех проанализированных слоях был определен химический состав.

**Радиоуглеродные и калиброванные значения возраста по колонке, отобранной с борта
ледокола «Полярштерн PS72/340-5»
(номер на карте – 3)**

Лабораторный номер	Глубина в колонке, см	Радиоуглеродный возраст $\pm 1 \sigma$, лет назад	Календарный возраст $\pm 1 \sigma$, лет назад
KIA 39133	4	6660 \pm 35	7142 \pm 55*
KIA 39134	20	9425 \pm 50	10 175 \pm 59*
KIA 43285	89,5	43 950 + 2640/-1990	47 953 \pm 2932**

Примечание. Все измерения выполнены по раковинкам *Neogloboquadrina pachyderma* в Лаборатории Лейбница в Университете г. Киль (Германия).

* возраст откалиброван с использованием программы Fairbanks0107 (Fairbanks et al., 2005).

** возраст откалиброван с использованием программы CalPal07 (Danzeglocke et al., 2007), ошибка $1\sigma = 2640$.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение. <i>Е. А. Гусев, А. А. Черных, Е. Г. Атсафурова, М. С. Корнева</i>	3
Стратиграфия	15
Сейсмостратиграфическая основа расчленения геологического разреза. <i>П. В. Рекант, Е. А. Гусев, Д. Е. Доречкина</i>	15
Стратиграфическая характеристика разреза	21
Архей–протерозой. <i>П. В. Рекант, Е. А. Гусев</i>	21
Рифей–нижняя пермь. <i>П. В. Рекант, Е. А. Гусев, Е. С. Миролюбова</i> ..	21
Верхняя пермь–нижний мел. <i>П. В. Рекант, Е. А. Гусев</i>	25
Меловая система. <i>П. В. Рекант, Е. А. Гусев</i>	27
Палеогеновая система. <i>П. В. Рекант, Е. А. Гусев</i>	28
Неогеновая система. <i>П. В. Рекант, Е. А. Гусев</i>	30
Неогеновая–четвертичная системы. <i>Е. А. Зыков, Е. А. Гусев</i>	31
Литология современных донных отложений. <i>С. А. Бондаренко, Е. С. Миролюбова, А. А. Крылов, И. А. Андреева</i>	37
Магматизм. <i>Е. А. Гусев, П. В. Рекант</i>	48
Тектоника. <i>Е. А. Гусев, П. В. Рекант, А. А. Черных</i>	53
Геоморфология. <i>А. Г. Зинченко</i>	59
История геологического развития. <i>Е. А. Гусев, П. В. Рекант</i>	66
Оценка перспектив нефтегазоносности. <i>О. И. Супруненко</i>	69
Заключение. <i>Е. А. Гусев</i>	71
Список литературы	74
<i>Приложение 1.</i> Породообразующие окислы и микроэлементный состав образцов пород донного каменного материала с поднятия Менделеева	83
<i>Приложение 2.</i> Геохронологические определения образцов донного каменного материала, поднятого со склонов гор поднятия Менделеева и хребта Альфа в пределах площади листов U-1,2	85
<i>Приложение 3.</i> Результаты радиохимического анализа по осадкам из кернов грунтовых трубок	86
<i>Приложение 4.</i> Радиоуглеродные и калиброванные значения возраста по колонке, отобранной с борта ледокола «Поларштерн PS72/340-5»	87

**ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение)
Серия Океанская
Листы U-1,2 – хребет Альфа
Объяснительная записка**

Редактор *Е. А. Зотова*

Техническое редактирование *О. Е. Степурко*

Верстка *Т. П. Рекант*

Подписано в печать 17.12.2018. Формат 70×100/16. Гарнитура Times New Roman.
Печать офсетная. Печ. л. 6. Уч.-изд. л. 8,2.
Тираж 100 экз. Заказ 41714000

Картографическая фабрика ВСЕГЕИ
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72
Тел. 328-8121, факс 321-8153

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК
