

А. Ф. МОРОЗОВ (Роснедра), О. В. ПЕТРОВ, С. П. ШОКАЛЬСКИЙ,
С. Н. КАШУБИН (ВСЕГЕИ), А. А. КРЕМЕНЕЦКИЙ (ИМГРЭ), М. Ю. ШКАТОВ (Севморгео),
В. Д. КАМИНСКИЙ, Е. А. ГУСЕВ, Г. Э. ГРИКУРОВ, П. В. РЕКАНТ (ВНИИОкеангеология),
С. С. ШЕВЧЕНКО, С. А. СЕРГЕЕВ, В. В. ШАТОВ (ВСЕГЕИ)

НОВЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ, ОБОСНОВЫВАЮЩИЕ КОНТИНЕНТАЛЬНУЮ ПРИРОДУ ОБЛАСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-АРКТИЧЕСКИХ ПОДНЯТИЙ

Представлены результаты российских и зарубежных исследований горных пород, поднятых с морского дна в центральной части Северного Ледовитого океана во время экспедиций НЭС «Академик Фёдоров» («Арктика-2000», «Арктика-2005», «Арктика-2007»), ледоколов USGS США «Healy» (2008, 2009) и германского «Polarstern-2008». Новые данные о подводном поднятии Менделеева получены в ходе российской высокоширотной экспедиции «Арктика-2012».

Проведенные исследования показали, что в составе обломков пород резко преобладают осадочные породы – неравномерно метаморфизованные доломиты и кварцевые песчаники, известняки, иногда с фауной девона – перми, и только 10–15% составляют магматические породы (архейские и палеопротерозойские гнейсо-граниты, неопротерозойские габбро-долериты) и метаморфические образования (зеленые сланцы, метабазиты, кварцы, гнейсы). По-видимому, эти породы входят в состав акустического фундамента, подстилающего слоистые рыхлые осадки позднего мезозоя – кайнозоя.

Наряду с драгированными древними базитами в результате глубоководного бурения в северной и южной частях поднятия Менделеева в экспедиции «Арктика-2012» был получен керн кайнотипных базальтов, по сейсмическим данным залегающих на границе позднемезозойско-кайнозойского осадочного чехла и акустического фундамента, по составу аналогичных ранне-позднемезозойским базальтам с симаунтов к северу от Чукотского плато, с хр. Альфа, островов Земли Франца-Иосифа, Де-Лонга и других частей крупной магматической провинции Высокой Арктики (HALIP).

Видеосъемка морского дна на эскарпах поднятия Менделеева указывает на коренные обнажения и местное происхождение или небольшой перенос большей части обломков горных пород на участках опробования. Континентальный тип земной коры фундамента глубоководных поднятий Центральной Арктики доказывается результатами изучения донно-каменного материала, обработка и анализ которого будут использованы в подготовке обновленной заявки России по установлению ВГКШ.

Ключевые слова: *акустический фундамент, поднятие Менделеева, драгирование, глубоководное бурение, базальты HALIP, донно-каменный материал.*

Results of the Russian and foreign studies of rocks collected from the seafloor in the central part of the Arctic Ocean during the expeditions of "Academic Fedorov" RV ("Arctic-2000", "Arctic-2005", "Arctic-2007"), USGS "Healy" (2008, 2009) and German "Polarstern-2008" icebreakers are presented. New data on the submarine Mendeleev Ridge were obtained during the Russian high-latitude expedition "Arctic-2012".

Conducted studies have shown that sedimentary rocks: irregularly metamorphosed dolomite and quartz sandstone, limestone sometimes with the Devonian-Permian fossils predominate in the composition of rock fragments, and only 5–15% fall at magmatic rocks (Archean and Paleoproterozoic gneiss-granite, Neoproterozoic gabbro-dolerite) and metamorphic formations (green schist, metabasite, quartzite, gneiss). Apparently, these rocks are a part of the acoustic basement underlying layered unconsolidated sediments of the Late Mesozoic – Cenozoic.

Along with ancient mafic rocks dredged as a result of deep-water drilling in the northern and southern parts of the Mendeleev Ridge during "Arctic-2012" expedition, core of cenotypal basalts occurring after the seismic data at the boundary of the Late Mesozoic – Cenozoic sedimentary cover and the acoustic basement, similar in composition to the Early-Late Cretaceous basalts from seamounts north of the Chukchi Plateau, from the Alpha Ridge, Franz Josef Land islands, De Long and other areas of the High Arctic large igneous province (HALIP).

Video images of the seabed at the Mendeleev Ridge scarps indicate bedrock exposures and local origin or small transfer of most rock fragments in the sampling areas. Continental type of basement crust at deepwater rises in the Central Arctic is proved by bottom rock material study, the processing and analysis of which will be used in the preparation of the updated Russian submission to delineate the outer limits of the continental shelf.

Key words: *acoustic basement, Mendeleev Ridge, dredging, deepwater drilling, HALIP basalts, bottom rock material.*

Основные результаты изучения донно-каменного материала (ДКМ) с поднятия Менделеева и других подводных структур области Центрально-Арктических поднятий по материалам российских и зарубежных экспедиций, предшествовавших экспедиции «Арктика-2012». Коллекции образцов собраны при геологическом опробовании пород морского дна в центральной части Арктического бассейна во время круизов НЭС «Академик Фёдоров» («Арктика-2000», «Арктика-2005», «Арктика-2007») и «Polarstern-2008» (ARK-XXIII/3). Опробованы склоны поднятия Менделеева, склоны и западное подножие хр. Ломоносова, батияль в пределах котловины Подводников. В результате изучения ДКМ экспедиций «Арктика-2000» в северной части поднятия Менделеева и «Арктика-2005» в его центральной части специалисты ВНИИОкеангеологии [6–8] установили, что в составе драгированных обломков пород преобладают *осадочные породы*: немые массивные доломиты, а также песчаники с существенно кварцевым составом кластического материала, обломки известняков 15–20%, в которых изредка встречается фауна палеозоя (например, девона, карбона и перми с подводной возвышенности Шамшура). Магматические и метаморфические породы (изменённые габбро-долериты и гнейсо-граниты) составляют 10–15%. Угловатая форма и неокатанный облик большинства обломков пород при полном отсутствии крупной кластики в прилегающих к поднятию котловинах Макарова и Канадской, специфический состав органического вещества в донных осадках поднятия Менделеева привели авторов к выводу о местном происхождении или небольшом переносе изученных обломков пород. Позднее в палеозойских (U-Pb возраст 430–300 млн лет) песчаниках, извлеченных драгой с поднятия Менделеева, были обнаружены архейские детритовые цирконы (до 3,1 млрд лет), что свидетельствовало об участии древних источников в образовании этих осадочных пород.

Изучение магматических пород началось с исследования обломков гнейсо-гранитов, поднятых геологами ПМГРЭ и ВНИИОкеангеологии в 2007 г. во время рейса НЭС «Академик Фёдоров» (станция АФ-0701) с глубины 4170 ± 5 м в котловине Амундсена у северо-западного подножия подводного хр. Ломоносова. Донные осадки в боксоре объёмом $50 \times 50 \times 50$ см сохранили своё первичное напластование и на трёх уровнях – в придонной, средней и верхней частях разреза, – охватывающих около 28 тыс. лет, содержали пять обломков (до 2 см) розоватых гнейсо-гранитов. В четырёх из них было обнаружено 15 зёрен циркона. По 21 точке определений в Центре изотопных исследований (ЦИИ) ВСЕГЕИ проведено локальное датирование пород непосредственно в петрографических шлифах [11]. Все зёрна показали раннедокембрийский возраст: 2,5–2,6 млрд лет (время магматической кристаллизации), более древние ядра – до 2,9–3,0 млрд лет и более молодые оболочки – время перекристаллизации (2,2–2,3 млрд лет). Имеющиеся геологические данные допускают местное происхождение и относительно небольшой, порядка 100 км, перенос обломков гранитов с близлежащего склона хр. Ломоносова. В районе Северного полюса наблюдаются сужение и резкое изменение простираения хр. Ломоносова, увеличение крутизны его склонов. Здесь обнаружены участки высокого стояния его кристаллического фундамента,

прикрытого маломощным осадочным чехлом [50]. Лестница эскарпов могла служить источником и средством транспортировки гранитного обломочного материала. В пользу такой версии происхождения гранитных обломков могут свидетельствовать следующие данные: сходство возраста, облика и состава всех изученных обломков гранитоидов; архейский возраст гранитов при том, что в прибрежном обрамлении Арктического бассейна, откуда можно было бы предположить поступление обломков путем айсбергового или ледового разноса, обнажаются гранитоиды любых других возрастов, кроме архейских; залегание однотипных гранитных обломков друг над другом на нескольких уровнях в едином, ненарушенном разрезе донных осадков вряд ли случайное; слабая окатанность обломков; своеобразие состава вмещающих донных осадков (они резко отличаются от илов глубоководных котловин Арктического бассейна) [2] и, наоборот, близость по минеральному составу к углеродистым алеволитам с хр. Ломоносова [30], что свидетельствует о реальности сноса и формирования полюсных осадков за счет подводного выветривания пород хр. Ломоносова; близость спектра возрастов цирконов из вмещающих донных илов к возрастам изученных гранитоидов как возможного источника обломочных цирконов.

В южной части хр. Ломоносова, в двухкилометровом эскарпе отрога Геофизиков, опробованном боксорером (станция ALR07-16B), с глубины 2,5 км было получено 170 обломков пород гравийной размерности, среди которых резко преобладают карбонаты и метаморфические сланцы, но были также граниты, гнейсы, глинистые сланцы, песчаники и кварциты [13]. В отличие от приполюсной части хр. Ломоносова и поднятия Менделеева, где гнейсо-граниты до сих пор показывали исключительно архейский возраст, в гнейсах и гранитах из пр. ALR07-16B на отроге Геофизиков установлены мезопротерозойский 1139 ± 15 , неопротерозойский 688 ± 5 , ордовикский $448,7 \pm 4$ и раннедевонский $407,5 \pm 5,1$ млн лет возрасты метаморфизма и гранитоидного магматизма. Среди захваченных ксеногенных цирконов доминируют палеопротерозойские цирконы (1700–2100 млн лет), а также ясно выделяется немногочисленная группа архейских цирконов (до 2,9–3,0 млрд лет). Вмещающие донные осадки, как и полюсные со склона хребта в котловину Амундсена, характеризуются следующими максимальными пиками возраста циркона: 1800–2100, 600–800, 200–400, 130–160, а самый молодой (возраст HALIP) 73 млн лет. При этом донные осадки не содержат цирконов мезопротерозоя гренвильской эпохи [47].

Признаки присутствия изверженных пород кислого состава и континентальной коры в фундаменте отмечались и для других глубоководных поднятий Центральной Арктики: хр. Альфа и Чукотского плато и хр. Нортвинд [25, 29, 44]. В трудах I Международного симпозиума по геологии Арктики, состоявшегося в Канаде (Калгари, 1960), в 9 пунктах драгирования и 14 буровых колонках на хр. Альфа доминируют осадочные породы, в том числе кварцевые песчаники в составе ДКМ, там же отмечалась бентосная фауна карбона и перми в известняках [18, 25]. На подводной горе Остенсо ($84^{\circ}31'$ с.ш., $128^{\circ}37'$ з.д.) среди обломков ДКМ в грунтовой трубке FL-380 (американская ледовая станция T-3) обнаружены красные милониты по

гранитоидам. Обломки филлонитов размером до 3 см погружены в пестроокрашенные песчано-алевритовые осадки, состоящие из кварца, альбита, олигоклаза, калиевых полевых шпатов, возможно, переотложенную кору выветривания. Изотопный возраст калишпата, определённый Ag-Ag методом, показал 1800–1900 млн лет [24]. К западу от этой точки в восьми из 14 грунтовых колонок также выявлены красноцветные и пестроцветные осадки — следы выветривания пород на хр. Альфа. Примерно в этом же районе на полигоне полярной станции «Альфа» с координатами 84–85° с.ш. и 138–152° з.д. драгой была поднята проба, на 85% состоящая из обломков метаморфических пород.

Целенаправленное опробование (драгирование эскарпа), проведенное геологами «Nealy» в американском секторе Американо-Азиатского бассейна, показало присутствие на ЮВ оконечности хр. Альфа на глубине 3200 м красноцветных малоглубинных гиадокластитов с градационной слоистостью [21].

На крутом склоне Центрально-Чукотского хребта в северной части Чукотского плато (точка DS-5) в 2009 г. с ледокола «Nealy» произведено удачное драгирование и поднято более полутонны обломков метаморфических пород: кристаллических и зеленых сланцев, ортогнейсов, гранитов, аплитов [22, 23]. Из образцов ортогнейсов выделены цирконы с возрастом $428 \pm 3,4$ и 500 млн лет. Ядра кристаллов в одном из образцов показали возраст 850–1000 млн лет. Это свидетельствует о том, что каледонская переработка прошла по ранее сформированной, возможно, гренвилльской коре.

В 2010 г. из коллекций образцов высокоширотных экспедиций «Арктика-2000», «Арктика-2005» и «Polarstern-2008» (ARK-XXIII/3) отобраны магматические породы поднятия Менделеева, до этого не изучавшиеся. На поднятии Менделеева в нескольких пунктах среди ДКМ оказались обломки таких же гнейсо-гранитов и с такими же раннедокембрийскими возрастными цирконами (2,7, 2,6, 2,3, 1,9 млрд лет), как и в районе хр. Ломоносова.

Среди отобранных образцов магматических пород обнаружено 10 мелких обломков основных пород — долеритов и габбро-долеритов. Породы изучены в шлифах, из них выделены цирконы и в ЦИИ ВСЕГЕИ проведено датирование локальным U-Pb методом SIMS SHRIMP по цирконам. Петрографическое изучение базитов показало их однотипность и заметные отличия от меловых базальтов НАЛП. Породы раскристаллизованы и сильно изменены, обладают габбро-офитовой структурой, содержат примесь кварца, графических сростков кварца и калишпата, в них постоянно присутствуют амфибол и обильный рудный минерал (ильменит, титаномагнетит, гематит). Изучение аксессуарных минералов выявило, кроме их обычного набора, сульфиды железа и меди, сфен, апатит, бадделейт, а также циркон, как собственный «базитовый магматический», так и захваченный метаморфический и гранитоидный с возрастом 2,6 млрд лет. Зёрна «собственного» циркона с повышенным содержанием тория и урана, что характерно для базитов трапповых комплексов, по возрасту (примерно 800 млн лет) оказались неопротерозойскими. Ни одного образца, похожего на молодые (меловые) базальты, в коллекции не было обнаружено.

До последнего времени оставались загадочными различия в составе временного материала, драгиро-

ванного и поднятого трубками на поднятии Альфа (меловые щелочные базальты и вулканогенно-осадочные породы) и поднятия Менделеева (зрелые терригенные и карбонатные осадочные породы, изредка кварциты, гранитоиды и позднедокембрийские базиты). При этом оба поднятия большинство исследователей относят к единой морфоструктуре в контуре крупной положительной магнитной аномалии.

Постепенно появляется всё больше данных о доминировании в пределах Американо-Азиатского бассейна континентальной коры, в различной степени преобразованной процессами рифтогенной деструкции и вулканизма. Для российской стороны это важно в первую очередь в отношении поднятия Альфа-Менделеева, поскольку в период первого российского представления 2000 г. негативное отношение Комиссии по границам континентального шельфа к заявке России в значительной мере базировалось на постулируемой в подавляющем большинстве зарубежных работ океанической природе поднятий Альфа и Менделеева.

Новые геофизические свидетельства континентальной природы поднятия Менделеева и прилегающих к нему котловин — существенные доводы в пользу правомерности представления этих акваторий в качестве погруженных участков пассивной континентальной окраины Евразийского океанического бассейна. Однако их недостаточно для обоснования правомерности распространения на них понятия «подводная возвышенность, являющаяся естественным компонентом материковой окраины», применимость которого должна быть доказана для принятия положительных рекомендаций в отношении заявки по установлению внешних границ континентального шельфа (ВГКШ). Важнейшей задачей является дальнейшее накопление необходимых аргументов. В первую очередь это касается данных опробования, дополнить только подтверждающих на каменном материале не только континентальный характер изучаемых морфоструктур, но и их геологическое родство с российской арктической материковой окраиной.

Экспедиция «Арктика-2012». Геологическое опробование. Исследуемый ДКМ получен при геологическом опробовании морского дна поднятия Менделеева 10 августа — 6 октября 2012 г. (рис. 1).

Опробование проводилось отрядом геологов с борта ледокола «Капитан Драницын». Оно включало комплексный пробоотбор драгой (девять пунктов пробоотбора), телегрейфером ДГ-1ТВ (шесть точек), гидростатической трубкой (шесть точек), буровой установкой ГБУ-2/4000Л (три скважины на двух участках — в северной и южной частях поднятия Менделеева с общей длиной керна 1,15 м), а также манипулятором, расположенным в днище научно-исследовательской подводной лодки (НИПЛ) (семь проб размером до 0,5 м в пяти точках) на заранее выбранных полигонах с эскарпами.

При опробовании с использованием грейфера, буровой установки и манипулятора производилась оперативная видеосъемка спуска оборудования, постановки его на дно, собственно пробоотбора и бурения, а также момента отрыва ото дна и подъема инструмента.

Видеосъемкой с бурового станка и телегрейфера обнаружены коренные обнажения на поверхности морского дна в районе эскарпов, выбранных для

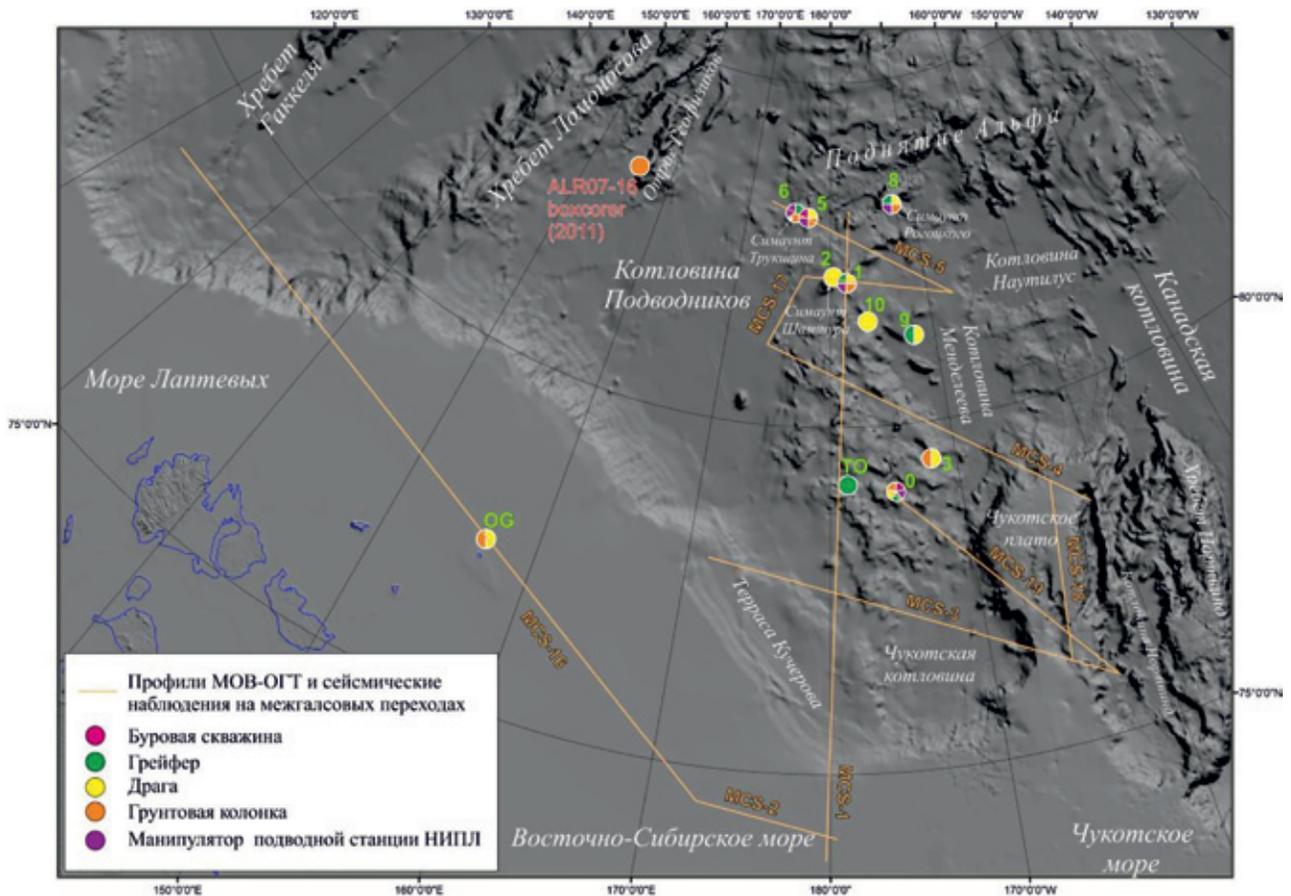


Рис. 1. Участки геологического опробования морского дна на поднятии Менделеева (экспедиция «Арктика-2012»)

геологического опробования. Места пробоотбора располагались вблизи резких уступов морского дна, где по опережающим сейсмическим данным (вдоль профилей МОВ ОГТ) были выявлены выходы акустического фундамента. Их местоположение уточнялось с помощью визуальных наблюдений с НИПЛ для выбора пологих (менее 20°) площадок, лишённых донных осадков, позволяющих проводить глубоководное бурение на глубину 2 м от поверхности морского дна.

Всего обследовано и опробовано 10 таких участков (три полигона – 0, 3 и ТО в южной, 1, 2, 9, 10 – в центральной части поднятия Менделеева, в районе возвышенности Шамшура, а также 5, 6, 8 – на северном окончании поднятия Менделеева, на симаунтах Трукшина и Рогоцкого). Участки включали 27 станций опробования, из которых два участка (0 и 6) пригодны для бурения скважин (рис. 1).

Общая характеристика собранного ДКМ. Отобрано около 21 тыс. обломков пород: примерно 100 образцов крупнее 10 см, до 5 тыс. обломков размерами от 1 до 10 см и 16 тыс. кусочков мельче 1 см (рис. 2).

Обломки горных пород в большинстве своем неокатанны, имеют остроугольную форму и, судя по фото- и видеосъёмкам, распределяются на морском дне весьма неравномерно. Крупнообломочный материал наблюдался только на подводных поднятиях, тогда как в пределах глубоководных впадин Подводников, Макарова, Канадской на поверхности морского дна был виден лишь тонко-

обломочный рыхлый материал. Скопления разно-размерных обломков приурочены к склонам и подножиям эскарпов с крутизной склонов до 30–40° и более. Такое распределение и форма обломков указывают на их местное происхождение и небольшой перенос. В то же время почти в каждой пробе отмечалась небольшая (1–5%) примесь мелких окатанных обломков пород – продуктов ледового или айсбергового переноса.

Разделить местный и ксеногенный каменный материал – важнейшая и трудная задача. Предварительные консультации по этой проблеме проведены в Москве с академиком РАН А. П. Лисицыным и доктором геол.-минер. наук И. О. Мурдмаа из Института океанологии РАН.

Относительно крупные обломки предварительно были обработаны на борту судна: извлечены из рыхлого материала донных проб, разложены, сфотографированы, классифицированы по петрографическому составу, маркированы и упакованы в ящики. Изученный на этом этапе каменный материал распределяется следующим образом (рис. 3):

50–65% – карбонатные породы (преимущественно доломиты, а также известняки в центральной части поднятия Менделеева на полигоне 9, содержащие фауну ордовика и силура);

20–25% – терригенные породы (песчаники, алевролиты, аргиллиты);

до 20% – магматические породы (гранитоиды, габбро-долериты, в редких случаях базальты);

~10% – метаморфические породы в основном зеленосланцевой фации.

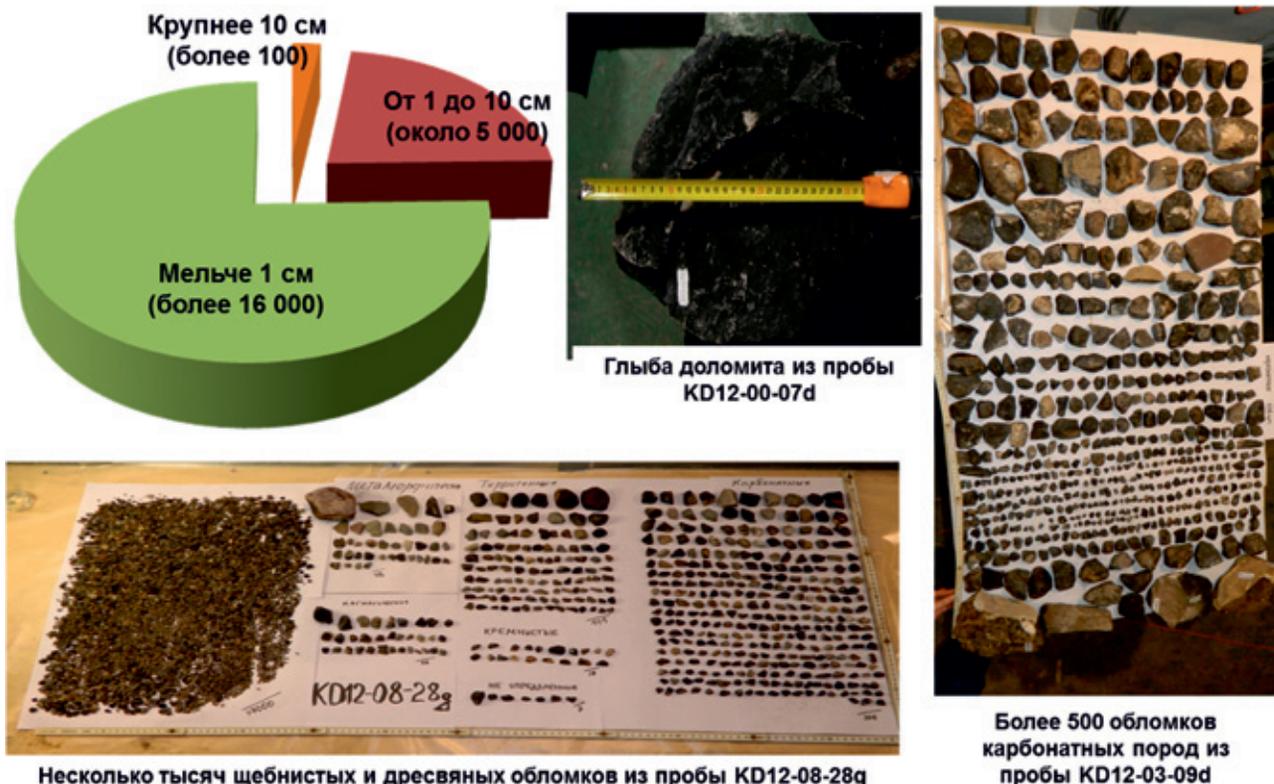


Рис. 2. Количество и размеры ДКМ, собранного в экспедиции «Арктика-2012»

На двух участках широко распространены железомарганцевые корки. На одном из них (уч. 3 в южной части поднятия Менделеева) драгой поднято более 500 кг этих образований.

Обработка и пробоподготовка ДКМ. После завершения экспедиции «Арктика-2012» ДКМ и сопровождающая документация – журналы геологического опробования, полевые описания образцов пород и видео-фотоматериалы по станциям опробования были переданы для централизованного хранения в Депозитарий ДКМ при ВСЕГЕИ.

Комиссия по приемке материалов геологических исследований из представителей Севморгео, ВНИИОкеангеологии и ВСЕГЕИ приняла на хранение 37 ящиков с образцами общим весом 820 кг с судна «Капитан Драницын» и семь глыб пород из пяти контейнеров НИПЛ.

В Депозитарии группа специалистов из ВНИИОкеангеологии продолжила начатые на борту судна каталогизацию, петрографическое изучение и литолого-морфометрический анализ поднятых драгой и грейфером обломков горных

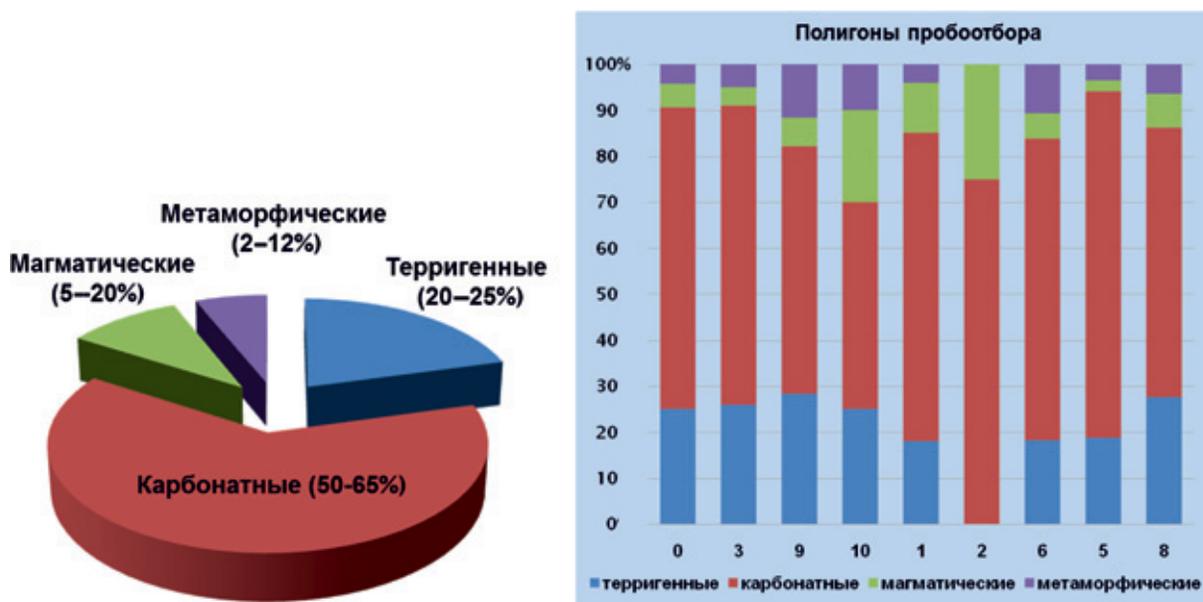


Рис. 3. Петрографический состав ДКМ (по результатам полевых определений)

пород. Параллельно с систематизацией образцов ДКМ по разновидностям пород специалистами ВСЕГЕИ производились отбор, распиловка и подготовка материала для изотопно-геохимических и геохронологических исследований.

Критериями отбора служили размеры, представительность образцов, степень вторичных изменений и достаточность исходного материала для проведения комплексных исследований по нескольким изотопным системам (геохронологической и геохимической). Подготовлено до 200 перспективных образцов со всех станций пробоотбора.

Для изотопных исследований первого этапа создана рабочая коллекция из 90 образцов пород разного состава и генезиса. Перед прецизионными изотопно-геохимическими и изотопно-геохронологическими исследованиями проведен силикатный и рентгеноструктурный анализ образцов, выделены минеральные монофракции, изготовлены прозрачно-полированные шлифы. Выполнены геохимические и петролого-минералогические исследования образцов ДКМ осадочных и вулканических пород. Дополнительно отобрано 40 проб для изучения тяжелой фракции из грунтовых колонок пелагических илов с шести станций поднятия Менделеева.

Начались аналитические исследования наиболее важных образцов: базальтов из керна трех скважин (рис. 4) и семи крупных глыб, каждая весом 5–30 кг: две долеритов, две доломитов и три песчаников, поднятых манипулятором НИПЛ (рис. 5).

Первые результаты изучения ДКМ поднятия Менделеева. Проанализировано 12 проб, среди которых образцы керна трех скважин подводного бурения глубиной до 2 м в северной (полигон 6) и южной

(полигон 0) частях поднятия Менделеева и глыб, отобранных манипулятором НИПЛ.

Кратко охарактеризуем пробы осадочных пород и габброидов, отобранные манипулятором НИПЛ, а также вулканические породы из керна скважин. Результаты силикатного анализа пород даны в табл. 1, рентгенофазового – в табл. 2.

Доломиты представляют собой тонко-мелкозернистые массивные, в большей или меньшей мере перекристаллизованные породы от светло-серого до коричневатого-серого или даже белого цвета, визуально немые, органических остатков не содержат.

В известняках изредка встречаются окаменелости хорошей сохранности. Карбонатные породы сейчас изучаются палеонтологами ВСЕГЕИ.

Кварцевые песчаники характеризуются высоким до 98% кремнезёмом, нередко косослоистой текстурой, иллитовым или карбонатным доломит-кальцитовым, иногда перекристаллизованным (порфириблестовая структура матрикса) цементом. Для них характерны высокая зрелость и хорошая сортировка обломочного материала, отличающие осадочные породы платформенного чехла кратонов.

Базальтоиды керна скважин из северной и южной частей поднятия Менделеева являются трахибазальтами высокотитанистыми, повышеноглинозёмистыми, с переменными соотношениями калия и натрия, массивной, миндалекаменной или брекчиевой текстуры (кластолавы) с монтмориллитовым цементом.

Наряду с трахибазальтами, среди вулканических пород в южной части поднятия встречаются трахиандезиты и трахиты, образующие рифтогенную бимодальную, трахиандезит-трахибазальтовую ассоциацию. Эти породы показали позднепермский возраст 260 млн лет (локальный уран-свинцовый

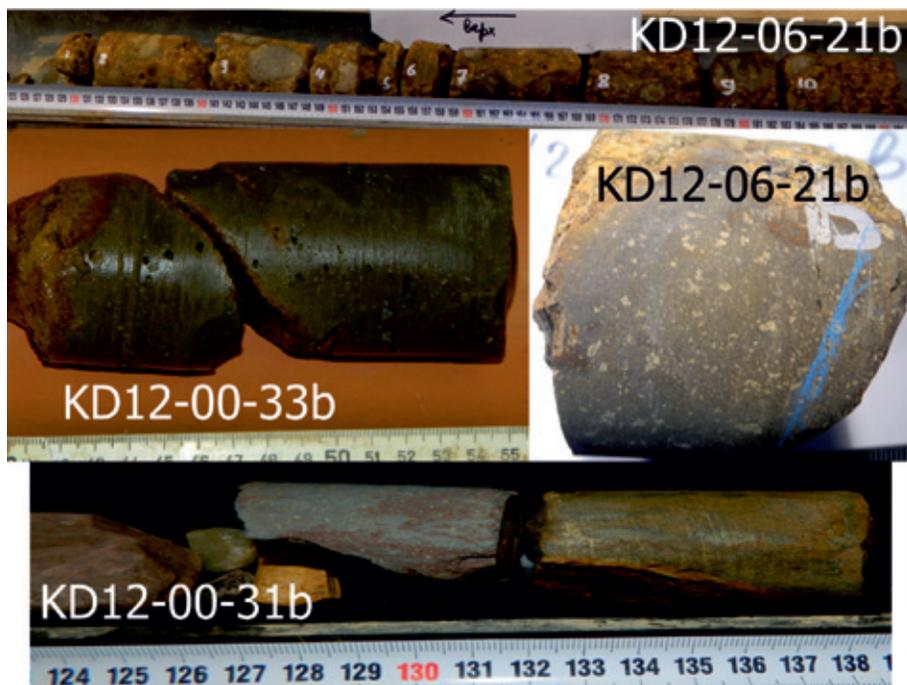


Рис. 4. Базальты из керна трёх скважин глубоководного бурения на поднятии Менделеева

Пр. KD12-06-21b из скв. 21 с уч. опробования 6 на симаунте Трукшина в северной части поднятия; пр. KD12-00-33b из скв. 33 и пр. KD12-00-31b из скв. 31 с уч. опробования 0 в южной части поднятия (положение участков опробования на рис. 1)

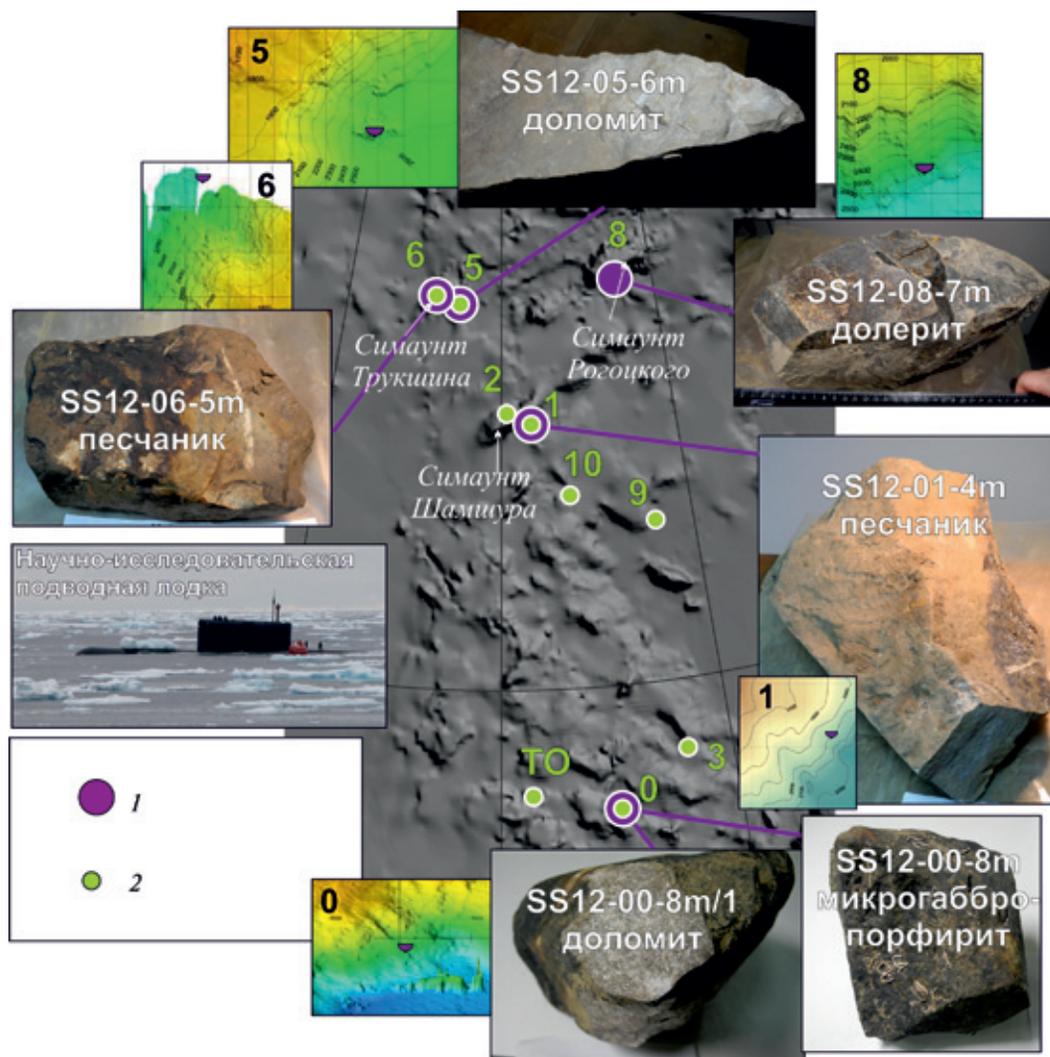


Рис. 5. Крупные глыбы пород, поднятые манипулятором научно-исследовательской подводной лодки (НИПЛ), и положение участков опробования на поднятии Менделеева
Точки пробоотбора манипулятором НИПЛ (1) и прочими средствами (2)

возраст по циркону), характерный для сибирских траппов и бимодальных комплексов Западной Сибири, тогда как кластолавы трахибазальтов из северной части поднятия имеют изотопный возраст 127 млн лет, типичный для HALIP. Скорее всего в разных районах поднятия Менделеева акустический фундамент, перекрываемый базальтами различного возраста, также не будет везде одновозрастным, а Центрально-Арктический вулканический ареал может оказаться полихронным.

Краткая петрографическая характеристика керн на вулканических пород дается на основании изучения образцов KD 12-00-31b/2; KD 12-00-31b/3; KD 12-00-31b/4; KD 12-00-33b; KD 12-06-21b/6; KD 12-06-21b/9.

Трахибазальты (31b/4, 33b) – породы с порфировой структурой. Вкрапленники (10–15%) – преимущественно основной плагиоклаз – лабрадор (№ 65), иногда образующий гломеропорфировые выделения. В меньшем количестве во вкрапленниках встречается клинопироксен (авгит $N_g-N_p \approx 0,030$, $(+)2V \approx 60^\circ$, дисперсия угла оптических осей $\gamma > \nu$, сильно развиты грани призмы 110, что характерно для авгитов). Основная масса – плагиоклаз и пироксен, образующие типич-

ную интерсертальную структуру, местами переходящую в пойкилоофитовую, пилотакситовую и гиалопилитовую.

Трахиандезиты (31b/3) – порфировые породы с вкрапленниками плагиоклаза – андезина, реже клинопироксена. Основная масса, сложенная преимущественно лейстовидными микролитами плагиоклаза, иногда погруженными в девитрифицированное вулканическое стекло, имеет пилотакситовую и интерсертальную структуру.

Брекчии (гиалокластиты и кластолавы) трахибазальтового состава (21b/9, 21b/6) – сочетание обломков трахибазальтов размером до 6–8 см, погруженных в девитрифицированную интерсертальную связующую массу. Помимо обломков базальтоидов, присутствует несколько угловатых обломков железисто-кремнистых осадочных пород (кремнистые алевролиты). Обломки и реже матрикс неравномерно замещены в обр. 21b/9 агрегатом гетита, диаспора, галлузита, хлорита, опала, кристобалита, ферригидрита, нонтронита, иллит-сметкита, гейландита, а в обр. 21b/6 – нонтронита, иллит-сметкита, ферригидрита, опала, кристобалита, галлузита, маггемита, гетита. Глинистые минералы придают породе характерную светлую желто-бурую окраску.

Степень преобразования породы резко изменяется даже в пределах одного шлифа: рядом встречается свежее и полностью замещенное стекло. Это позволяет предположить, что вторичное преобразование могло быть обусловлено флюидо-эксплозивным процессом, приведшим к образованию брекчиевых пород и замещению вторичными минералами цемента брекчии и части обломков. Процесс проявлен локально, поскольку на соседнем участке (0) базальты не изменены и имеют обычный облик, и противоречит предположению о сплошном лагеритном выветривании базальтов и их наземном происхождении.

Петрохимическая характеристика вулканических пород. По данным табл. 1 составлены петрохимические диаграммы, позволяющие уточнить классификацию пород, сравнить их с известными аналогами и определить в зависимости от геодинамической обстановки формирования.

Исследуемые породы, судя по их положению на классификационной диаграмме сумма щелочей – кремнезем (рис. 6), образуют бимодальную ассоциацию, разбиваются на две группы – трахибазальтов и трахиандезитов без переходных разновидностей. Трахиандезиты – относительно более молодые породы (судя по их положению в разрезе керн скважины). Существование бимодальной ассоциации можно объяснить резким всплыванием на определенном этапе мантийного очага и контаминацией расплава веществом верхней континентальной коры. Флюидизация привела в процессе извержения к образованию брекчиевых пород.

На диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ среди базальтоидов поднятия Менделеева выделяются две группы пород: умереннощелочные пикробазальты и трахибазальты до щелочных базальтов (1) и нормальнощелочные базальты и андезитобазальты (2). 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 (кайнозойскими о. Жохова и ордовикскими о. Генриетты, в меньшей степени с меловыми о. Беннетта). К области распространения трахибазальтов поднятия Менделеева также тяготеет точка среднего состава базальтоидов континентальных внутриплитных обстановок. Область перекрытия составов траппов Норильского района (по периферии Хантайско-Рыбнинского вала) и базальтов поднятия Менделеева не очень велика и отмечается лишь для наиболее кислой части последних. По сравнению с меловыми базальтами Земли Франца-Иосифа породы поднятия Менделеева резко отличаются значительно более высокой щелочностью. Умереннощелочные базальты поднятия Менделеева по параметрам на TAS диаграмме очень близки к вулканитам, драгированным с симаунта к северу от Чукотского подводного плато, а также к породам четвертичных покровов о. Беннетта. Нормальнощелочные базальты сходны с породами триасовых покровов о. Вайгач (арх. Новая Земля) и юрских – о. Земля короля Карла (арх. Свальбард).

На тройных диаграммах соотношений оксидов кремния, калия, магния и титана очень отчетливо различаются составы базальтов поднятия Менделеева и хр. Гаккеля (рис. 7). Последние обладают

значительно более низкой титанистостью, более высокой магнезиальностью и низкой калиевостью; точки их составов не выходят за пределы поля базальтов срединно-океанических хребтов. На диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O} - \text{TiO}_2$ составы базальтоидов поднятия Менделеева располагаются преимущественно в поле обстановок континентальных рифтов.

Геохимические диаграммы. Исследуемые породы по соотношениям La–Y–Nb располагаются главным образом в поле континентальных базальтоидов, частично попадая также в поле известково-щелочных базальтоидов и базальтоидов внутриконтинентальных рифтов (рис. 8). Кроме того, можно отметить, что базальтоиды хр. Менделеева близки к соответствующим породам Земли Франца-Иосифа [9], но достаточно далеко отстоят от базитов хр. Гаккеля, которые расположены в поле пород E-типа MORB.

Бинарная диаграмма $\text{TiO}_2 - \text{Y/Nb}$ позволяет прежде всего говорить о том, что породы поднятия Менделеева расположены главным образом в поле континентальных щелочных базальтов, частично континентальных толеитов (рис. 9). Кроме того, они практически не совпадают с точками базальтоидов Земли Франца-Иосифа и далеко отстоят от поля пород хр. Гаккеля, тяготеющих к полю океанических толеитов.

Сопоставление базальтов поднятия Менделеева («Арктика-2012») с типовыми базальтами различных геодинамических обстановок на спайдерграмме (рис. 10) позволяет убедиться в большом сходстве первых с внутриплитными континентальными базальтами, в том числе с известными платобазальтами Декана, при определенной близости их и к составам базальтов океанических островов. В то же время трахибазальты поднятия Менделеева сильно отличаются от базальтов срединно-океанических хребтов.

Изотопно-геохимические и геохронологические исследования ДКМ. Уникальность ДКМ, его геологическое разнообразие, а также международная значимость результатов исследований диктуют необходимость всестороннего и тщательного изучения вещества при том, что высокзатратные прецизионные исследования применяются в первую очередь к образцам, с наибольшей уверенностью относимым к собственным породам поднятия Менделеева, а не к продуктам ледового разноса. Предпочтение при выборе материала для исследований было отдано наиболее крупным (> 10 см) неокатанным обломкам пород. В коллекции «Арктика-2012» образцов такого типа около 5% (табл. 3).

На первом этапе работ изучены образцы *карбонатных пород (доломитов и известняков)*, драгированных с поднятия Менделеева, и коренных карбонатных пород Новосибирских островов. Измерен изотопный состав C, O и Sr (около 100 образцов). Коренные породы являются представительными для ордовика, силура, девона, карбона, триаса.

Полученные материалы предназначены для корреляции образцов ДКМ и однотипных пород из континентального обрамления Арктического бассейна. Результаты свидетельствуют не только о петрографическом своеобразии карбонатных пород поднятия Менделеева, в основном доломитов и лишь отчасти известняков (в отличие от известняков, резко преобладающих на Новоси-

**Химический и микроэлементный состав образцов пород морского
по данным подводного бурения (кери) и опробования
(результаты силикатного анализа в % и ICP-MS в ppm,**

Оксиды и элементы	KD12-06- 21b/9	KD12-06- 21b/10	KD12-00- 33b	KD12-00- 31b/4	KD12-00- 31b/3	KD12-00- 31b/2	SS12-08-7m (УСО-7)	SS12-00-8m (УСО-8)	SS12-01-4m (УСО-4)
	1				2		3	4	5
SiO ₂ (%)	45,43	46,89	50,77	49,37	57,59	56,57	50,74	48,88	58,93
TiO ₂	2,607	2,689	2,861	2,252	0,6513	0,9333	2,577	1,988	0,3916
Al ₂ O ₃	20,05	21,71	15,54	16,44	22,22	18,39	13,57	14,16	8,151
Fe ₂ O _{3,общ}	9,742	5,87	13,68	11,49	3,782	5,119	14,4	14,87	1,821
MnO	0,0916	0,0384	0,2682	0,147	0,0258	0,0103	0,204	0,2274	0,2683
MgO	4,145	3,406	3,916	4,704	0,6954	2,377	4,772	6,042	1,317
CaO	4,67	11,74	7,796	9,257	4,996	1,542	8,67	8,897	14,17
Na ₂ O	2,976	3,055	3,802	3,295	5,703	3,446	2,899	2,311	<,1
K ₂ O	2,037	0,9056	0,4514	1,034	3,051	3,29	1,231	1,56	2,184
P ₂ O ₅	0,2792	1,36	0,3956	0,4438	0,1483	0,068	0,2662	0,1382	0,0683
п.п.п.	7,93	2,34	0,573	1,49	1,1	8,23	0,553	0,848	12,6
Сумма	99,97	100	100	99,93	99,96	99,98	99,9	99,92	99,9
V	0,0189	0,0176	0,0098	0,0204	0,0065	0,0142	0,0332	0,0387	<,005
Cr	0,0223	0,0156	0,0052	0,0263	0,0084	0,0116	0,0034	0,0079	0,0055
Ba	0,0142	0,0261	0,0141	0,0184	0,0258	0,0128	0,0228	0,179	<,005
Li (ppm)	71,4		19,8	18,4	10,2	61,4	16,2	<1	18,1
Rb	31,4	9,83	7,94	12,2	50,8	27,6	41,7	<2	53,7
Cs	0,95	0,38	0,25	0,3	0,49	0,39	0,9	<0,1	1,61
Be	<1	1,01	<1	1,22	1,39	1,84	1,18	<1	<1
Ba	94	254	69,5	124	344	109	214	9,83	101
Sr	310	628	215	294	326	242	216	41,1	116
Mn	705,32		2065,14	1131,9	198,66	79,31	1570,8		2065,91
Ti	15642		17166	13512	3907,8	5599,8	15462		2349,6
V	219	197	117	225	70,4	143	381	<2,5	40,3
Cr	180	170	59,5	218	79,2	97,4	78,8	47,7	107
Ni	148		2,95	118	14,2	13,3	24,2	2,27	15,7
Co	57,7	12	29,7	45,9	8,03	5,56	49,6	3,87	8,57
Sc	39,3		37,2	33,1	7,3	15,2	32,5	<0,2	4,63
Ga	15,8	17,9	22,9	22,1	27	23,6	23,5	<0,1	8,05
Zn	91		166	211	62,8	96,5	151	1	7,52
Pb	1,47		1,75	2,18	11,2	10,6	5,6	<1,0	10,2
Zr	187	183	194	269	267	285	201	4,44	153
Hf	4,54	4,33	5,47	6,61	6,6	7,79	5,32	0,068	4,1
Nb	44,9	42,6	10,7	17,9	14,4	19,7	20,1	<0,5	6,59
Ta	2,77	2,49	0,73	1,11	1,51	1,43	1,29	<0,1	0,49
Th	3,22	3,11	2,1	3,11	9,55	6,56	4,47	<0,1	5,01
U	0,68	2,47	0,48	2,6	1,75	3,01	1,17	0,38	1,33
Y	22,5	85,6	53,7	40,1	17,1	30,8	41,2	0,21	13,1
La	17,3	54,3	16,7	26,9	40	28,9	23,2	0,29	17,5
Ce	40	81,3	38,4	62,3	68	60,3	50	0,8	34,9
Pr	4,74	11,4	5,39	8,29	7,42	8,01	6,4	0,063	3,87
Nd	20,5	48,9	24,9	34,8	27,6	32,2	28	0,26	15
Sm	4,54	9,15	7	7,96	5,26	6,82	6,89	0,053	3
Eu	1,58	3,22	2,28	2,24	1,6	1,61	1,98	0,011	0,6
Gd	4,95	11	8,19	8,45	4,7	7,6	7,4	0,048	2,57
Tb	0,76	1,53	1,4	1,29	0,67	1,13	1,2	<0,005	0,41
Dy	5,11	9,15	9,86	7,8	3,77	7,1	7,87	0,041	2,56
Ho	0,98	1,8	2,03	1,48	0,69	1,23	1,53	0,0082	0,48
Er	2,64	5,35	5,53	4,1	1,69	3,1	4,31	0,018	1,32
Tm	0,38	0,65	0,81	0,61	0,24	0,5	0,61	<0,005	0,2
Yb	2,48	4,03	5,2	3,78	1,34	3,19	3,94	0,02	1,23
Lu	0,37	0,71	0,74	0,6	0,21	0,45	0,54	0,0053	0,21
Cl	1041		139	650	2321	3727	31	182	113
F	524		103	437	273	182	621	108	193

Порода: **1** – трахибазальт (кери); **2** – трахиандезит (кери); **3–7** – НИПЛ: **3** – долерит; **4** – микрогаббро-порфирит; **5** – кварцевый метапесчаник; **6** – кварцевый песчаник; **7** – доломит.

Таблица 1

дна поднятия Менделеева
манипулятором НИПЛ
лаборатория ВСЕГЕИ)

SS12-06-5m (УСО-5)	SS12-05-6m (УСО-6)	SS12-00-8m/1 (УСО-8-1)	Пределы обнаружения
6	7		
89,51	1,261	0,2438	0,02
0,5362	0,0178	<,01	0,01
3,419	0,5141	0,1972	0,05
1,892	0,4795	0,3822	0,01
0,0677	0,0219	0,025	0,01
0,6845	21,7	21,5	0,1
0,8651	29,71	30,7	0,01
0,1245	<,1	<,1	0,1
0,7868	0,1942	<,01	0,01
0,0543	<,05	<,05	0,05
2,06	46,2	47,1	0,1
100	100,1	100,1	
<,005	<,005	<,005	0,005
0,003	<,002	<,002	0,002
0,0139	<,005	0,0052	0,005
6,51	1,95		1
23,1	2,64	34,9	2
0,53	<0,1	0,63	0,1
<1	<1	1,12	1
138	8,12	116	3
34,9	52,3	196	1
521,29	168,63		Пересчет
3217,2	106,8		Пересчет
23,1	3,7	390	2,5
105	55,8	63,3	1
10,5	2,06		1
7,89	0,77	46,6	0,5
3,78	0,38		0,2
3,96	0,42	17,6	0,1
12,2	3,48		1
3,96	1,42		1
463	7,29	102	0,5
11,4	0,19	2,61	0,01
7,68	<0,5	5,22	0,5
0,59	<0,1	0,4	0,1
7,4	0,49	1,09	0,1
1,83	0,39	0,29	0,1
21,6	0,81	26,6	0,1
26,6	1,97	6,3	0,01
57,1	3,27	16,6	0,01
6,69	0,36	2,44	0,01
25,7	1,34	13,4	0,01
5,07	0,19	3,91	0,005
0,77	0,039	1,14	0,005
4,41	0,22	4,33	0,01
0,65	0,035	0,78	0,005
4,12	0,16	5,05	0,01
0,8	0,032	1,06	0,005
2,32	0,077	2,93	0,01
0,35	0,011	0,35	0,005
2,35	0,068	2,35	0,01
0,39	0,0096	0,34	0,005
590	226		50
218	208		30

бирских островах), но и о наличии латеральных неоднородностей изотопных характеристик, связанных с температурными и глубинными условиями осадконакопления. Доминирующие в составе ДКМ поднятия Менделеева карбонатные породы, по-видимому, имеют местное происхождение. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в породах типичны для нормальных морских карбонатов. Однако значения $\delta^{18}\text{O}$ являются более «легкими», что может быть следствием опреснения, повышенных температур формирования или перекристаллизации. Образцы из различных станций скорее всего отражают размыв близких по изотопному составу отложений. Некоторые аномальные характеристики могут обозначать места разгрузки метановых флюидов, перспективные на локализацию углеводородных залежей. В одном образце из Чукотской впадины обнаружена аномалия $\delta^{13}\text{C} = -18,8\%$. Столь низкое значение $\delta^{13}\text{C}$ в карбонате может быть связано с появлением изотопно-легкого углерода из органического вещества или углеводородов, прежде всего метана.

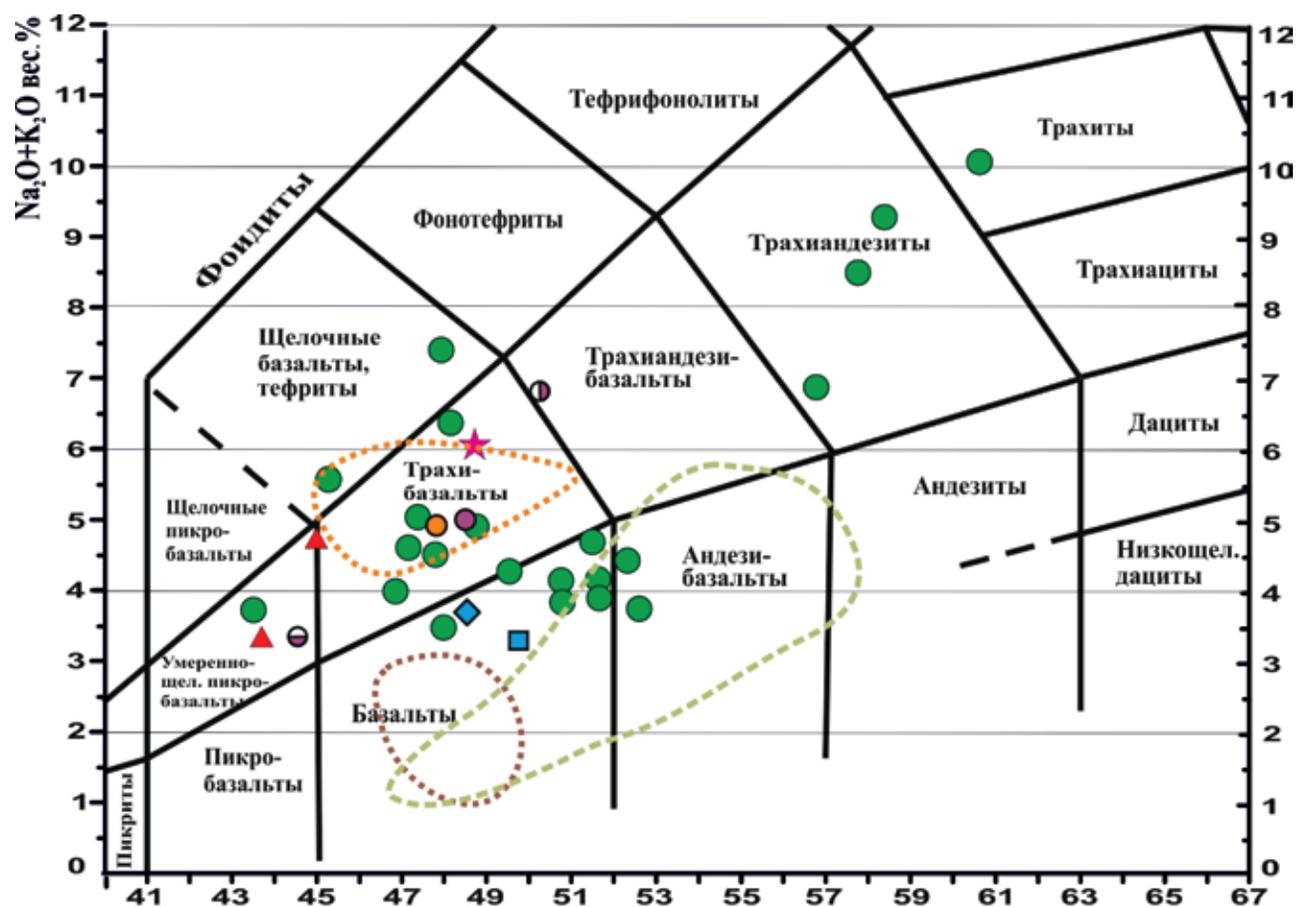
Пелагические илы. Выполнены изотопно-геохимические (Hf), изотопно-геохронологические (U-Pb) и минералогические исследования цирконов из опорных разрезов иловых отложений, поднятых со дна в пределах западных и восточных отрогов хр. Ломоносова [45]. Результаты будут сопоставлены с данными по цирконам из аналогичных образцов пелагических илов поднятия Менделеева. Выбран 41 образец нетурбидированных пелагических илов с шагом 1 м из шести новых колонок, отобранных на поднятии Менделеева в 2012 г. Охарактеризовано шесть латеральных уровней опробования разрезов с выделением на каждом уровне индивидуальных возрастных групп цирконов (около 70 самостоятельных проб). Описаны кристаллы каждой пробы, их морфология, степень сохранности (идиоморфизм или окатанность), особенности внутренней зональности и состава. Полученная информация позволит установить потенциальные источники исследованного материала, их удаленность от опробованного осадка, а также провести корреляцию с образцами ДКМ соседних поднятий и котловин и осадочными породами с островов в пределах континентального шельфа. Протатировано свыше 1000 индивидуальных зерен циркона уран-свинцовым методом, для 250 изучена изотопная систематика гафния. Эти результаты будут сопоставлены с аналогичными данными для проб с хр. Ломоносова.

Результаты изотопного U-Pb датирования базальтов и габбро-долеритов поднятия Менделеева методом SIMS SHRIMP. Изучены четыре образца пород, представленных керном вулканических коренных пород (30–60 см) с глубины 2000–2500 м (79 и 83° с.ш.) – 21b и 33b и двумя глыбами (SS12-08-7m и SS12-00-8m) габброидов, взятых НИПЛ с глубины 2500–3000 м.

Образец долерита (SS12-08-7m) содержал кристаллы циркона магматического типа с содержаниями урана 259–427 г/т и отношением Th/U 0,4–1,0, которые показали позднекембрийский возраст 500 ± 5 млн лет (табл. 4, 5). В одном зерне было зафиксировано предположительно метаморфическое событие (время проявления 288 ± 6 млн лет). В образце микрогаббро-порфирита (пр. SS12-00-8m) обнаружены два кластера цирконов. В первой группе однородные длиннопризматические магматического облика высокоурановые цирконы (U 850–1152 г/т, отношение Th/U высокое, 1,6–1,8).

Минеральный состав образцов пород морского дна поднятия Менделеева по данным подводного бурения (кери) и опробования манипулятором научно-исследовательской подводной лодки, лаборатория ВСЕГЕИ (рентгенофазовый анализ, прибор «Дрон-6»)

Образец	Порода	Породообразующие минералы	Минералы-примеси
KD-12-06-21b/9	Трахибазальт	Альбит, анортит, андезин, анортоклаз	Иллит, хлорит, кварц
KD-12-06-21b/9	»	12-Å-монтмориллонит, альбит, анортит	Кальцит, гетит, маггемит, корунд, диаспор, галлуазит
KD-12-06-21b/6	»	12-Å-смектит (возможно, нонтронит), неупорядоченно-смешанно-слоистый иллит-смектит	Ферригидрит (опал, кристобалит), галлуазит, маггемит, гетит
KD-12-00-33b	»	Альбит, анортит, авгит	Биотит-1М, кальцит, гетит, магнетит, марказит
KD-12-00-31b/4	»	Альбит, авгит, анортоклаз	12-Å-смектит, гетит
KD-12-00-31b/3	Трахиандезит	Альбит, авгит, анортоклаз	Диопсид, 12-Å-смектит, гетит
KD-12-00-31b/2	Трахиандезит цеолитизированный	12-Å-смектит, гейландит, морденит	Альбит, Na-санидин
SS12-01-4m (УСО-4)	Кварцевый метапесчаник с карбонатным цементом	Кварц ≈ 70, кальцит ≈ 20, доломит ≈ 15%	(Иллит, К-Na полевошпатовый) ≈ 5%
SS12-06-5m (УСО-5)	Кварцевый песчаник косослоистый с иллитовым цементом	Кварц ≈ 96%	Кальцит ≈ 2, альбит ≈ 1, иллит ≈ 1%
SS12-05-6m (УСО-6)	Доломит	Доломит ≈ 99%	(Кварц + иллит + рудные минералы) ≈ 1%
SS12-08-7m (УСО-7)	Долерит	Альбит, анортит, лабрадорит, анортоклаз	Кварц, ильменит, биотит
SS12-00-8m (УСО-8)	Микрогаббропорфирит	Анортит, авгит, амфибол (роговая обманка), анортоклаз	Кварц, ильменит, биотит 1М, хлорит



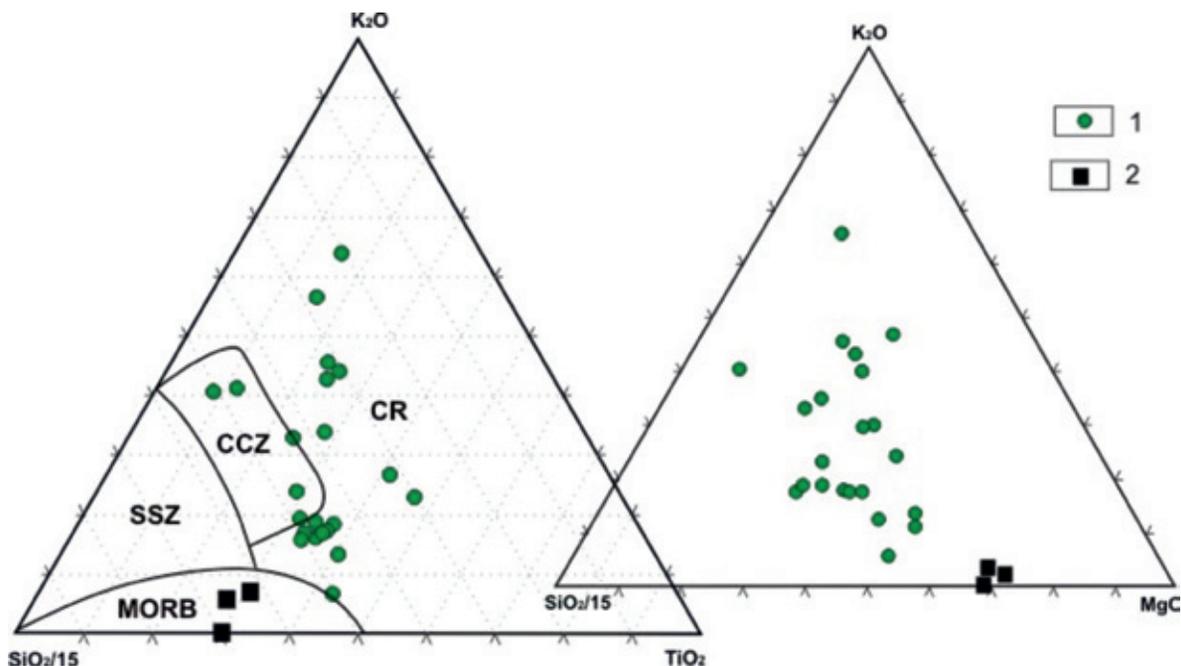


Рис. 7. Составы вулканических пород на тройных диаграммах соотношений оксидов кремния, калия, магния и титана

1 – породы подводного поднятия Менделеева; 2 – хр. Гаккеля (с использованием данных [38, 42]). Геодинамические обстановки (по [4]): CR – континентальные рифты, CCZ – области межконтинентальной коллизии, SSZ – зоны субдукции, MORB – срединно-океанические хребты

Рис. 8. Составы вулканических пород поднятия Менделеева на дискриминационной диаграмме La-Y-Nb [16, 24]

1 – базальтоиды поднятия Менделеева; 2 – поле базальтоидов Земли Франца-Иосифа.

Базальты вулканических дуг: 1A – известково-щелочные базальты, 1C – островодужные толеиты, 1B – известково-щелочные базальты и островодужные толеиты. Континентальные базальты: 2A – континентальные базальты, 2B – базальты задуговых бассейнов. Океанические базальты: 3A – щелочные базальты внутриконтинентальных рифтов, 3B, 3C – E-тип MORB, 3B – обогащенные, 3C – слабообогатенные, 3D – N-тип MORB

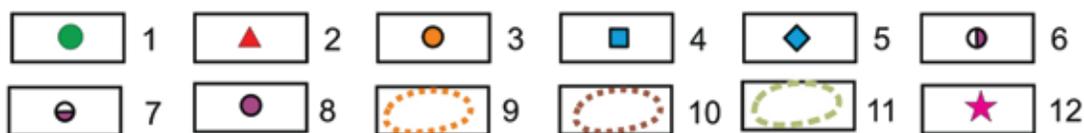
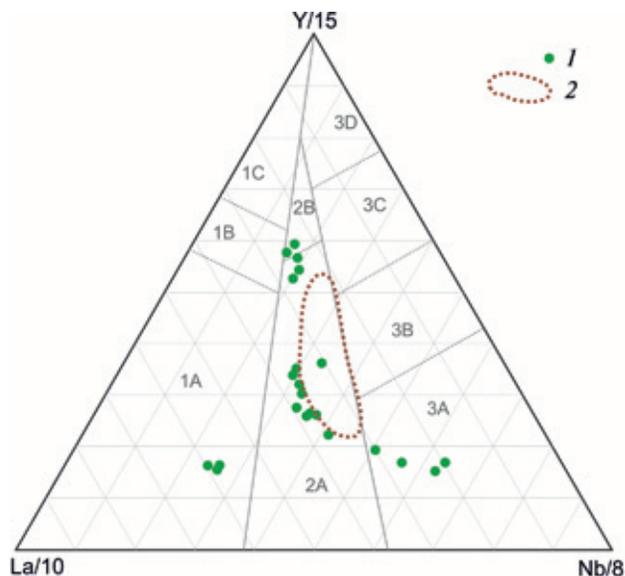


Рис. 6. Составы вулканических пород островов и подводных поднятий Арктики на диаграмме $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$

1 – подводное поднятие Менделеева (по данным российских исследователей); 2 – симаунт к северу от Чукотского подводного плато [40]; 3 – северная оконечность хр. Нортвинд [40]; 4 – покров J_2 , Земля короля Карла, арх. Свальбард [17]; 5 – покров T_2 , о. Вайгач, арх. Новая Земля [9]; 6–8 – арх. Де-Лонга: 6, 7 – базальтоиды (6 – K_{1-2} , 7 – Q) о. Беннетта [10], 8 – покров O_2 , о. Генриетты (по данным Е. А. Гусева); 9–11 – поля составов базальтоидов: 9 – о. Жохова, арх. Де-Лонга [15], 10 – Земля Франца-Иосифа [9], 11 – траппы Норильского района [14]; 12 – усредненные составы базальтоидов континентальных внутриплитных обстановок

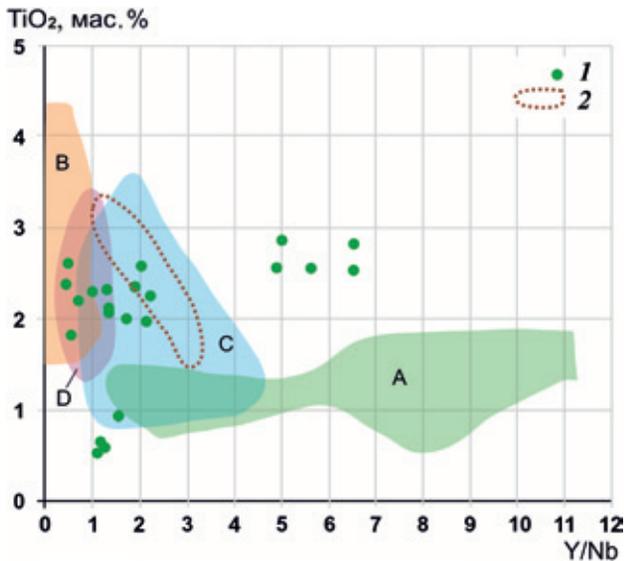


Рис. 9. Составы вулканических пород поднятия Менделеева на дискриминационной диаграмме TiO_2 – Y/Nb [27] по [16] с изменениями

1 – базальтоиды поднятия Менделеева; 2 – поле базальтоидов Земли Франца-Иосифа.

Поля на диаграмме: А – океанические толеиты, В – океанические щелочные базальты, С – континентальные толеиты, D – континентальные щелочные базальты

Конкордантный возраст породы, отражающий время её кристаллизации, 761 ± 3 млн лет. Второй кластер образуют грубозональные зёрна низкоурановых (238–263 г/т), предположительно метасоматических цирконов с низким отношением Th/U 0,5. Возраст этой группы цирконов 498 ± 4 млн лет.

Из вулканической брекчии трахибазальтов с обохренным глинизированным матриксом (кern скв. 21 с уч. 6 в северной части поднятия Менделеева) удалось выделить одно зерно циркона. Зерно тонкозональное, короткопризматическое, хорошо ограненное, магматического генезиса. Содержание урана в цирконе 600 г/т, отношение Th/U 0,6. Конкордантный возраст циркона $127,5 \pm 2,7$ млн лет.

В миндалекаменном трахибазальте из керн-на скв. 33 в южной части поднятия Менделеева уч. 0 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: позднерайский 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 (одно зерно).

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).

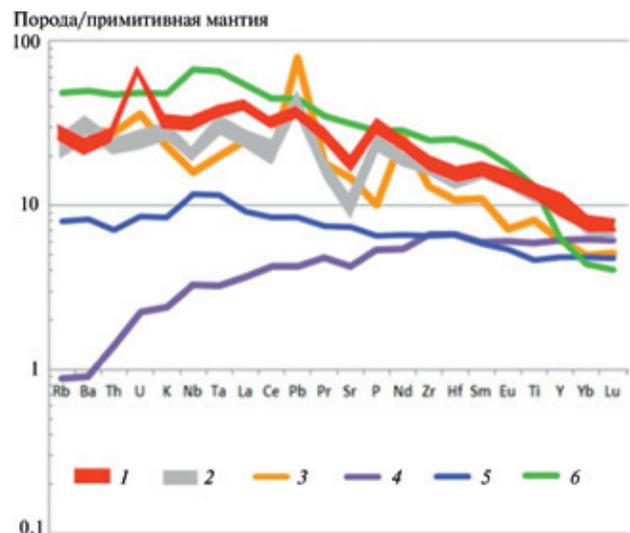


Рис. 10. Сопоставление базальтов поднятия Менделеева («Арктика-2012») с типовыми базальтами различных геодинамических обстановок по геохимическим особенностям

1 – базальты поднятия Менделеева; 2 – траппы Декана [41]; 3 – усредненный состав континентальных платобазальтов [3]; 4 – толеиты срединно-океанических хребтов [48]; 5 – обогащенные базальты срединно-океанических хребтов [48]; 6 – базальты океанических островов [48]

Обсуждение результатов полевых и аналитических исследований. Изучены базальты и габбро-долериты морского дна области Центрально-Арктических поднятий. Почти одновременно появились и до сих пор сосуществуют представления об океаническом [32, 49, 52] или континентальном происхождении подводных поднятий Альфа и Менделеева [26, 31, 33, 35, 39]. Разные авторы придерживаются различных точек зрения на природу поднятий и магматической провинции в целом: асейсмичное океаническое плато над горячим пятном мантии; след горячей точки на океанической коре; результат взаимодействия горячей точки со спрединговым хребтом или островной дуги со спрединговым центром; погруженный континентальный блок с широко проявленным внутриплитным магматизмом и следами андерплейтинга. Базальтовый вулканизм этой области перекликается с магматическими проявлениями того же возраста и близкого состава, известными в континентальном обрамлении Арктического бассейна: на Шпицбергене, Земле Франца-Иосифа и арх. Де-Лонга, в Северной Гренландии, на о. Элсмир и других островах Канадского Арктического архипелага [36].

К 2012 г. имелось не более десятка станций опробования (драгами, боксерами, грунтовыми трубками и в одном случае глубоководным бурением), надежно подтверждающих присутствие внутриплитных щелочных и умереннощелочных базальтов в области Центрально-Арктических поднятий (рис. 11). Эти базальты резко отличаются по составу от толеитовых MORB срединно-арктического хр. Гаккеля и его продолжения в Атлантику в виде трога Лена. По данным [43], базальты зон активного спрединга в Арктическом бассейне близки по химическому составу и $Sr-Nd-Pb-Hf$ изотопным отношениям к обычным MORB. Наряду с базальтами были драгированы габбро-долериты, а на отдельных амагматических

**Виды геохронологических и изотопно-геохимических аналитических работ,
выполняемых в ЦИИ ВСЕГЕИ для различных типов ДКМ экспедиции «Арктика-2012»**

Виды работ	Породообразующие минералы (первичные и вторичные)	Акцессорные минералы (тяжелая фракция)
Магматические и метаморфические породы основного состава		
<i>Определение начальных изотопных отношений и соотношений неодима (Nd), осмия (Os), гелия (He) и аргона (Ar), лития (Li); определение возраста аргон-аргоновым методом (Ar^{40}/Ar^{39})</i>	<i>Первичные</i> (пироксен, оливин, плагиоклаз и др.): определение возраста кристаллизации – изохронный самарий-неодимовый (Sm-Nd) и рений-осмиевый (Re-Os) методы. <i>Вторичные</i> (амфибол, слюды и др.): характер, интенсивность и возраст вторичных процессов – изохронный самарий-неодимовый (Sm-Nd) и рубидий-стронциевый (Rb-Sr) методы	<i>Минералы этапа магматической кристаллизации</i> (циркон, бадделейт): определение возраста кристаллизации – уран-свинцовый (U-Pb) локальный метод. <i>Вторичные</i> (гранат, магнетит, сульфиды, циркон и др.): характер, интенсивность и возраст вторичных процессов – изотопная систематика серы (S), кислорода (O), изохронный самарий-неодимовый (Sm-Nd), уран-свинцовый (U-Pb) и лютеций-гафниевый (Lu-Hf) локальные методы. <i>Захваченные и унаследованные</i> (циркон): определение возраста и состава нижележащих пород и пород источника – уран-свинцовый (U-Pb) локальный метод, изотопная систематика гафния (Hf)
Магматические и метаморфические породы кислого состава		
<i>Определение начальных изотопных отношений и соотношений стронция (Sr), неодима (Nd), свинца (Pb)</i>	<i>Первичные</i> (кварц, амфибол, плагиоклаз, биотит и др.): определение возраста кристаллизации и глубинности – изохронный рубидий-стронциевый (Rb-Sr) метод, изотопная систематика стронция (Sr), неодима (Nd), гелия (He), аргона (Ar). <i>Вторичные</i> (полевые шпаты, слюды и др.): характер, интенсивность и возраст вторичных процессов – изохронный самарий-неодимовый (Sm-Nd) и рубидий-стронциевый (Rb-Sr) методы	<i>Минералы этапа магматической кристаллизации</i> (циркон, уранинит): определение возраста кристаллизации – уран-свинцовый (U-Pb) локальный метод. <i>Вторичные</i> (монашит, сфен, гранат, магнетит, сульфиды, циркон и др.): характер, интенсивность и возраст вторичных процессов – изотопная систематика серы (S), кислорода (O), изохронный рубидий-стронциевый (Rb-Sr), уран-свинцовый (U-Pb) и лютеций-гафниевый (Lu-Hf) локальные методы. <i>Унаследованные</i> (циркон): определение возраста и состава пород источника – уран-свинцовый (U-Pb) локальный метод, изотопная систематика гафния (Hf)
Терригенные породы		
<i>Определение начальных изотопных отношений неодима (Nd)</i>	—	<i>Детритовые</i> (циркон, гранат): определение возраста, количественного вклада и характеристик источников сноса – уран-свинцовая (U-Pb) геохронология, лютеций-гафниевая изотопная систематика. <i>Вторичные</i> (слюды, апатит и др.): определение условий мета- и катагенеза – уран-торий-свинцовое (U-Th-Pb) датирование апатитов и опалов, изохронное датирование слюд (Rb-Sr метод)
Карбонатные породы		
<i>Сравнительная изотопная систематика стронция (Sr), кислорода (O) и углерода (C)</i>	Кальцит, доломит, сидерит: определение солёности и температуры среды образования – изотопная систематика кислорода (O) и углерода (C)	—
Пелагические илы		
<i>Сравнительная изотопная систематика неодима (Nd)</i>	Минералы легкой фракции (кварц): определение условий седиментации – изотопная систематика неона (Ne), кислорода (O)	Циркон, гранат: определение возраста, количественного вклада и характеристик источников сноса – уран-свинцовый (U-Pb) и лютеций-гафниевый (Lu-Hf) локальные методы, изотопная систематика гафния (Hf)

участках медленноспредингового хр. Гаккеля были подняты серпентинизированные и разуплотнённые перидотиты верхней мантии. В то же время в центральной части трога Лена [43] обнаружены и щелочные разности с относительно высокими SiO_2 51,0–51,6, Al_2O_3 18,1–18,4, Na_2O 4,0–4,2, K_2O 1,0–1,6%, Mg-числом (60–65), отношениями K_2O/TiO_2 (0,6–0,9), $(La/Sm)_{PM}$ (1,4–1,8) и низким FeO (6,5–6,8%). Вариации изотопных отношений в этих лавах: $^{87}Sr/^{86}Sr$ от 0,70361 до 0,70390,

$^{143}Nd/^{144}Nd$ от 0,51283 до 0,51290 (ϵNd от +3,7 до +5,2), $^{176}Hf/^{177}Hf$ от 0,28313 до 0,28322 (ϵHf от +11,6 до +14,9), а также $^{206}Pb/^{204}Pb$ от 17,752 до 17,884, $^{207}Pb/^{204}Pb$ от 15,410 до 15,423 и $^{208}Pb/^{204}Pb$ от 37,544 до 37,670 – свидетельствуют о проявлении контаминации базальтовой магмы флогопит-, амфибол- и гранатсодержащим коровым веществом в области генерации расплава, что позволяет авторам классифицировать этот отрезок трога Лена как границу области перехода континент–океан.

Данные U-Pb изотопного анализа цирконов из базальтов и габбро-долеритов

Циркон	% ²⁰⁶ Pb _c	ppm U	ppm Th	²³² Th/ ²³⁸ U	ppm ²⁰⁶ Pb*	(1) ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U возраст	(1) ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb возраст	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb* (1) ±%
KD12-00-21b								
21b_1.1	0,30	547	315	0,60	9,33	126,3 ± 1,9	49 ± 130	50,56 1,6
21b_1.2	0,38	629	341	0,56	10,9	128,7 ± 1,9	30 ± 100	49,58 1,5
SS12-00-8m								
00-8m_1.1	0,35	776	868	1,15	75	684,2 ± 8,6	673 ± 28	8,93 1,3
00-8m_1.2	1,13	583	435	0,77	57,5	692 ± 9	657 ± 60	8,82 1,4
00-8m_2.1	1,46	1446	4074	2,91	143	693,4 ± 9,4	690 ± 63	8,80 1,4
00-8m_2.2	2,36	601	1307	2,24	60	690,8 ± 9,9	635 ± 160	8,83 1,5
SS12-08-7m								
08-7m_1.1	0,12	294	109	0,39	78,8	1750 ± 21	1750 ± 16	3,205 1,4
08-7m_2.1	0,03	237	98	0,43	62,7	1732 ± 21	1964 ± 26	3,244 1,4
08-7m_3.1	0,19	356	485	1,41	13,9	286,3 ± 4,3	342 ± 80	22,02 1,5
08-7m_3.2	0,00	235	390	1,71	9,28	289,4 ± 4,4	319 ± 68	21,78 1,6
KD12-00-33b								
33b_1.1	0,00	32	8	0,25	9,8	1957 ± 36	1792 ± 43	2,819 2,1
33b_2.1	0,76	664	402	0,63	35,2	383,2 ± 5,3	440 ± 69	16,33 1,4
33b_3.1	0,20	280	8	0,03	43,3	1066 ± 14	1106 ± 30	5,561 1,4
33b_3.2	0,24	249	77	0,32	48,8	1323 ± 18	1331 ± 29	4,389 1,5
33b_4.1	0,24	337	181	0,56	83,2	1624 ± 21	1601 ± 21	3,488 1,4
33b_5.1	0,07	503	60	0,12	137	1776 ± 22	1948 ± 12	3,151 1,4
33b_5.2	0,23	371	51	0,14	105	1826 ± 22	1970 ± 15	3,052 1,4
33b_6.1	0,32	699	9	0,01	106	1044 ± 13	1653 ± 17	5,689 1,4
33b_6.2	0,38	215	100	0,48	63,2	1890 ± 24	1949 ± 20	2,933 1,5
33b_7.1	0,35	117	49	0,44	16,4	974 ± 15	939 ± 57	6,129 1,6
33b_8.1	1,32	37	26	0,73	5,75	1069 ± 21	970 ± 210	5,54 2,2
33b_9.1	0,53	177	174	1,01	35,4	1343 ± 18	2667 ± 17	4,315 1,5
33b_10.1	0,44	87	63	0,75	21,8	1645 ± 25	1644 ± 45	3,437 1,7
33b_11.1	0,20	419	61	0,15	93,4	1485 ± 19	1486 ± 22	3,86 1,4
33b_12.1	0,00	78	58	0,76	35,7	2745 ± 36	2708 ± 16	1,884 1,6
33b_13.1	0,41	214	228	1,10	51	1570 ± 20	1588 ± 24	3,625 1,4
33b_14.1	0,44	158	81	0,53	36,3	1521 ± 20	1546 ± 34	3,754 1,5
33b_15.1	0,12	490	190	0,40	213	2642 ± 29	2722 ± 7	1,974 1,3
33b_15.2	0,41	133	120	0,93	60,4	2725 ± 33	2720 ± 14	1,898 1,5
33b_16.1	0,29	186	88	0,49	46,2	1636 ± 21	1600 ± 24	3,46 1,4
33b_16.2	0,25	245	5	0,02	40,6	1135 ± 15	1197 ± 33	5,193 1,4
33b_17.1	0,71	112	88	0,81	10,4	653 ± 10	627 ± 130	9,38 1,7
33b_17.2	0,55	130	101	0,80	12,6	686 ± 11	579 ± 110	8,91 1,7
33b_18.1	2,95	6	1	0,23	1,91	1990 ± 80	1878 ± 280	2,75 4,7
33b_19.1	0,81	489	233	0,49	105	1421 ± 17	1398 ± 53	4,05 1,3
33b_20.1	0,29	415	112	0,28	110	1727 ± 21	1710 ± 17	3,253 1,4
33b_21.1	0,19	112	41	0,38	34	1942 ± 27	1922 ± 24	2,844 1,6
33b_22.1	1,30	102	81	0,82	29,2	1832 ± 26	1768 ± 52	3,034 1,6
33b_23.1	0,00	238	226	0,98	8,73	269 ± 4,3	217 ± 75	23,47 1,6
33b_24.1	1,68	378	240	0,65	94,9	1622 ± 21	1639 ± 110	3,485 1,5
33b_25.1	0,00	51	61	1,23	5,97	822 ± 16	758 ± 80	7,35 2,1

Примечания: (1) – коррекция на нерадиоогенный свинец – по результатам измерения ²⁰⁴Pb. Все погрешности – 1-сигма, возраст – в млн лет. Pb_c и Pb* – нерадиоогенный и радиоогенный свинец, corr – коэффициент корреляции. Ошибка при калибровке стандарта 0,53% (не включена в вышеперечисленные ошибки, но учитывается при сравнении результатов с различных шайб).

Таблица 4

поднятия Менделеева

$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$		$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$		егг. сог.
	±%		±%		±%	
0,047	5,3	0,1282	5,6	0,01978	1,6	0,279
0,0466	4,2	0,1297	4,4	0,02017	1,5	0,330
0,06196	1,3	0,957	1,9	0,1120	1,3	0,709
0,0615	2,8	0,961	3,1	0,1133	1,4	0,442
0,0625	3	0,978	3,3	0,1136	1,4	0,436
0,0609	7,4	0,95	7,5	0,1131	1,5	0,202
0,10708	0,88	4,606	1,6	0,312	1,4	0,845
0,1205	1,5	5,12	2	0,3082	1,4	0,694
0,0533	3,5	0,334	3,9	0,04541	1,5	0,400
0,0528	3	0,334	3,4	0,04592	1,6	0,461
0,1096	2,3	5,36	3,2	0,3547	2,1	0,673
0,0557	3,1	0,47	3,4	0,0612	1,4	0,413
0,0764	1,5	1,895	2,1	0,1798	1,4	0,691
0,0857	1,5	2,691	2,1	0,2278	1,5	0,697
0,0987	1,1	3,901	1,8	0,2866	1,4	0,792
0,1195	0,67	5,226	1,6	0,3173	1,4	0,902
0,1209	0,82	5,461	1,6	0,3275	1,4	0,859
0,1016	0,93	2,461	1,7	0,1757	1,4	0,832
0,1195	1,1	5,61	1,8	0,3406	1,5	0,792
0,0704	2,8	1,583	3,2	0,1631	1,6	0,500
0,0715	10	1,78	11	0,1804	2,2	0,206
0,1815	1	5,8	1,8	0,2316	1,5	0,830
0,1011	2,4	4,05	3	0,2907	1,7	0,577
0,0929	1,1	3,318	1,8	0,259	1,4	0,780
0,1861	0,96	13,62	1,9	0,5309	1,6	0,857
0,0981	1,3	3,728	1,9	0,2757	1,4	0,735
0,0959	1,8	3,52	2,3	0,2662	1,5	0,629
0,1877	0,42	13,11	1,4	0,5065	1,3	0,952
0,1874	0,86	13,59	1,7	0,5261	1,5	0,868
0,0987	1,3	3,932	1,9	0,2889	1,4	0,745
0,08	1,7	2,123	2,2	0,1925	1,4	0,645
0,0607	6,2	0,892	6,4	0,1066	1,7	0,259
0,0593	5	0,918	5,3	0,1122	1,7	0,314
0,115	16	5,73	16	0,362	4,7	0,286
0,0887	2,7	3,016	3	0,2466	1,3	0,435
0,1047	0,91	4,436	1,7	0,3072	1,4	0,836
0,1177	1,3	5,71	2,1	0,3515	1,6	0,764
0,1081	2,9	4,9	3,3	0,3287	1,6	0,495
0,0505	3,2	0,297	3,6	0,0426	1,6	0,453
0,1008	6	3,98	6,2	0,2861	1,5	0,241
0,0645	3,8	1,209	4,3	0,136	2,1	0,479

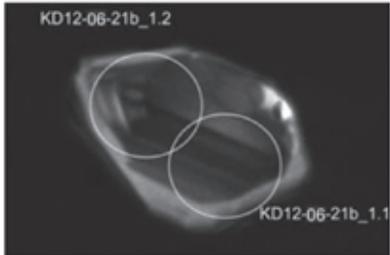
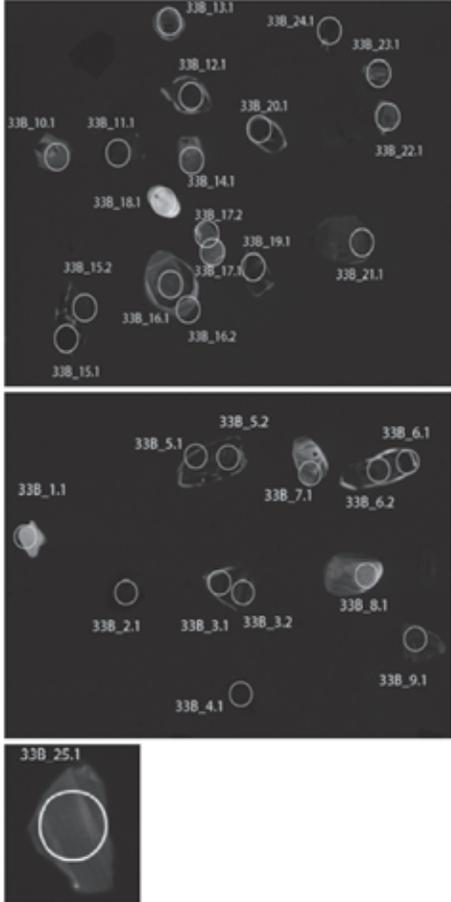
На поднятии Альфа канадской экспедицией CESAR (1983) драгированы в борту трюга CESAR малоглубинные вулканы основного состава [32]. По данным [51], желтоватые выветрелые породы (обр. 6) CESAR показали химический состав высокотитанистых (2,75–3,57% TiO₂), высокофосфористых и железистых щелочных базальтов с низкими содержаниями магния и кальция (рис. 12). По мнению Ван Вагонера (1986), измененные базальты слагают акустический фундамент центральной части поднятия Альфа и с несогласием перекрываются морскими осадками верхнего мела (кампан). Сходные характеристики имеют, по устному сообщению В. Йоката, и отобранные в рейсе «Polarstern-1998» на хр. Альфа субщелочные повышеннотитанистые базальты [34].

В 2008 и 2009 гг. донное опробование активно проводилось американскими геологами в рейсах корабля береговой охраны США «Nealy» (рис. 13): на семи станциях опробования (DR-1-7) в 2008 г. – профиль опробования проходил от южной оконечности поднятия Альфа через цепь симаунтов вдоль западной границы Канадской котловины до северной оконечности хр. Нортвинд и Чукотского плато (рис. 14) и пяти станциях (DS-1-5) в 2009 г. – точки находились в северной части хребта и отрога Нортвинд, на эскарпах Центрально-Чукотского подводного хребта, Чукотском плато и симаунте Nealy [20]. Геологическое опробование в этом районе было продолжено в 2012 г.

Платобазальты (рис. 15) драгированы на симаунте в северо-западной части Канадской котловины (DR-6) и на северном отроге хр. Нортвинд (DR-7) (рис. 16). По предварительному изучению образцов, породы с обеих станций относятся к щелочным и умереннощелочным базальтам, причём образцы DR-6 (79°44'31" с.ш.; 155°06'43" з.д.) представляют собой толеитовые подводные пиллоу-лавы, а породы DR-7 (78°32'02" с.ш.; 156°42'00" з.д.) извергались в субаэральной среде и по геохимическим характеристикам близки к континентальным платобазальтам [19, 37]. Судя по особенностям химизма, обе породы сформированы в ходе вулканического излияния лав в мелководных условиях, магма предварительно прошла через мощную континентальную кору, хотя сейчас породы находятся на глубине более 3500 м. Это указывает на сильное растяжение и быстрое глубокое погружение континентальной коры северного продолжения Чукотского плато и, по мнению авторов, никак не согласуется с представлениями о возможной принадлежности земной коры региона, пограничного с Канадской котловиной, к океаническому типу. Состав субаэральных щелочных базальтов из точки DR-7 (хр. Нортвинд, Чукотское плато): SiO₂ 43,7; TiO₂ 2,79; Na₂O+K₂O 3,4, MgO 9,1%; Mg-число 51 и SiO₂ 47,6; TiO₂ 1,42; Al₂O₃ 16,9 wt%, Na₂O+K₂O 5,0, MgO 7,59%; Mg-число 53,8); подводных щелочных базальтов симаунта DR-6: SiO₂ 43,9–46,0; TiO₂ 3,98–4,37; Na₂O+K₂O 4,4–4,9, MgO 4,5–5,0; Mg-число 34–37 [40]. Микроэлементный состав пород симаунта обнаруживает обогащение некогерентными элементами по отношению к примитивной мантии; CeN/YbN 1,7–2,8, GdN/LuN 1,0–1,6; низкий Sr в отношении SrN/NdN 0,28–0,45; такие геохимические характеристики соответствуют континентальным платобазальтам, при этом не обнаружилось ни одного образца с составом MORB.

**Морфологическая и возрастная характеристика цирконов
из базальтов и габбро-долеритов поднятия Менделеева**

Образец	Датированные зёрна циркона с указанием участков пробоотбора SHRIMP (диаметр каждого участка 20 мкм)	Результаты исследования цирконов
<p>SS12-00-8m (УСО-8) Микрогаббро-порфирит, масса 800 г, выделены 23 зерна циркона</p>		<p>Цирконы однородные, крупные, длиннопризматические, магматического облика, высокоурановые, 850–1152 г/т, отношение Th/U высокое 1,6–1,8. Возраст (конкордантный, время кристаллизации породы) 761 ± 3 млн лет. Семь зёрен, зёрна грубозональные, с включениями, предположительно метасоматические, низкоурановые 238–263 г/т, низкое отношение Th/U 0,5. Возраст этой группы цирконов 498 ± 4 млн лет</p>
<p>SS12-08-7m (УСО-7) Габбро-долерит, масса 950 г, выделено шесть зёрен циркона</p>		<p>Цирконы разнородные. Четыре зерна игольчатые (1, 2) и призматические, с выраженной осциляторной зональностью, отчетливыми ребрами и гранями, кристаллы магматического типа. Умеренно урановые $U = 259-427$ г/т, Th/U 0,4–1,0. Возраст по трём зёрнам 500 ± 5 млн лет. Четвёртое зерно с более высоким отношением Th/U 1,6. Возраст 288 ± 6 млн лет (возможно, метаморфическое событие)</p>

Образец	Датированные зёрна циркона с указанием участков пробоотбора SHRIMP (диаметр каждого участка 20 мкм)	Результаты исследования цирконов
<p>KD12-06-21b Кластолава базальтов с обожренным глинизированным цементом. Керн скв. 21 (участок 6 из северной части поднятия Менделеева). Масса образца из цемента кластолавы 120 г, выделено одно зерно циркона</p>		<p>Зерно тонкозональное, короткопризматическое, хорошо ограненное, магматического генезиса. Содержание урана 600 г/т, Th/U 0,6. Возраст (конкордантный) $127,5 \pm 2,7$ млн лет</p>
<p>KD12-00-33b Базальт миндалекаменный. Керн скв. 33 (участок 0 из южной части поднятия Менделеева). Масса 106 г, выделено 25 зерен циркона</p>		<p>Самые молодые два зерна указывают на пермский возраст базальтов ~ 260 млн лет (время кристаллизации магмы).</p> <p>Отчетливо выделяется 5 возрастных кластеров унаследованных цирконов: позднеархейский (три зерна) – 2,7; палеопротерозойский (6 зёрен) – 1,9; раннерифейский (7 зёрен) – 1,65; позднерифейский (5 зёрен) – от 0,8 до 1,1; ранневендский (одно зерно) – 668 млн лет</p>

Все базальты симаунта деплетированы по Sr, Nd и Hf изотопным соотношениям относительно среднего состава Земли ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512669 - 0,512919$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,703894 - 0,704764$; $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,283128 - 0,283191$). Поскольку проявления вулканизма располагаются далеко от явных срединных центров, а геохимические характеристики рассматриваемых вулканических пород сильно отличаются от базальтов хр. Таккеля, очевидно, что вулканизм области Центрально-Арктических поднятий имеет плюмовую природу и вулканические породы симаунта принадлежат к меловой провинции HALIP. Полученная информация об изотопных возрастах базальтов 112–100–76 млн лет [28] свидетельствует о продолжительном периоде активного магматизма в Амеразийском секторе Арктики (примерно 35 млн лет), что должно быть учтено в любых моделях формирования Амеразийского бассейна.

В недавно завершившейся российской экспедиции «Арктика-2012» не только доказано наличие коренных обнажений на поднятии Менделеева (с выходами на эскарпах пород фундамента на поверхность морского дна), но и впервые получены образцы керна базальтов, по облику и составу соответствующие меловым базальтам HALIP, залегающим на границе осадочного чехла и складчатого фундамента. Наконец, получила объяснение крупная положительная магнитная аномалия, распространенная в Центральной Арктике, в том числе на поднятии Менделеева. Продолжается изучение петрографических, минералогических и геохимических особенностей базальтов поднятия Менделеева и базальтов других регионов HALIP. Первые полученные результаты исследований свидетельствуют о внутриплитной континентальной природе базальтов поднятия Менделеева. По имеющимся на сегодня новым материалам, поднятие

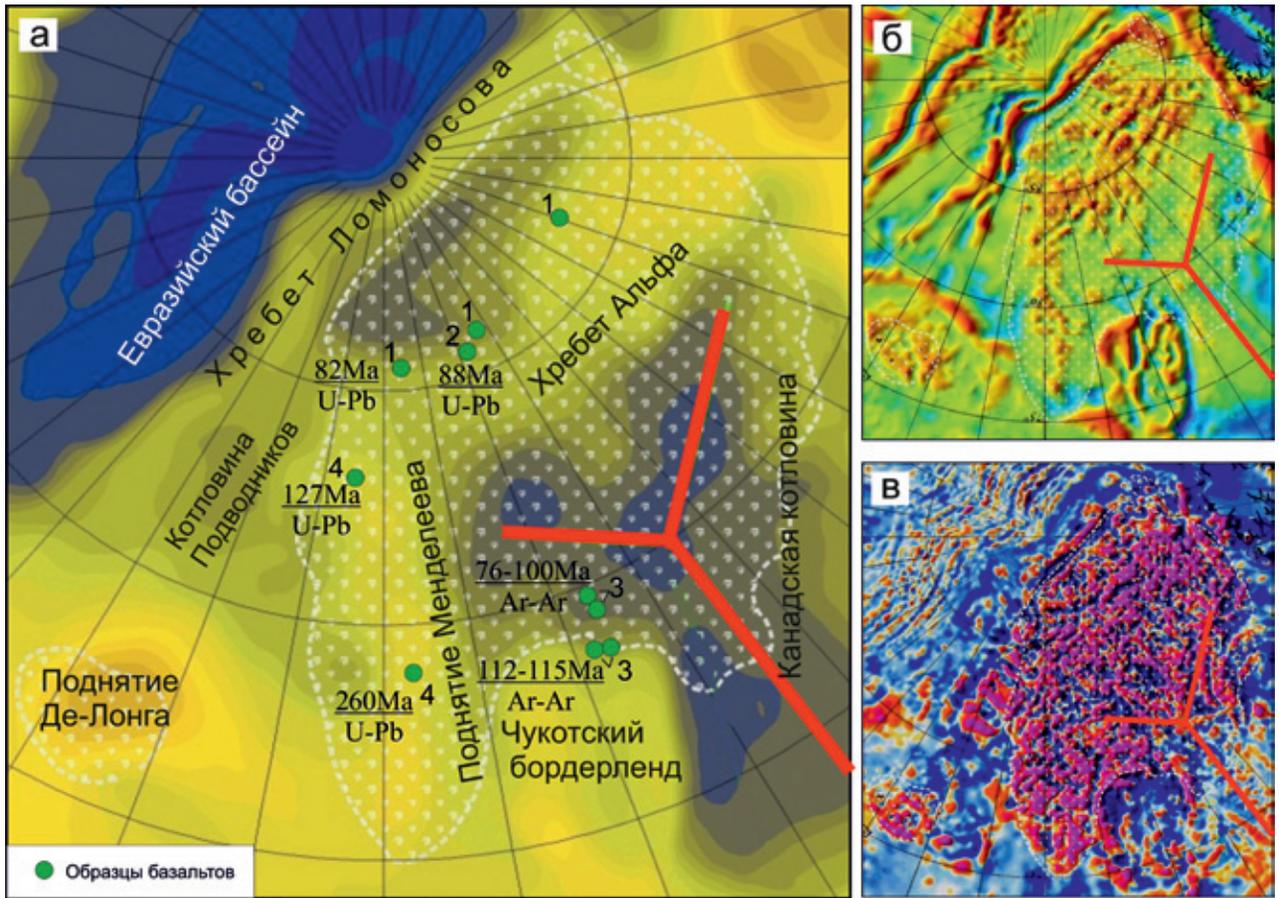


Рис. 12. Геологическое опробование поднятия Альфа-Менделеева (щелочной изменённый базальт из стенки трюга CESAR, обр. 6, 1983) [46]

Рис. 11. Центально-Арктический ареал распространения базальтов меловой магматической провинции HALIP (а – на карте Мохо, б – карте магнитного поля, в – гравиметрической карте) и размещение станций геологического опробования 1 – CESAR (1983), 2 – «Polarstern-1998» [34], 3 – «Healy» (2008 и 2009), 4 – «Арктика-2012». Красные линии – зона трехлучевого растяжения земной коры (triple junction) в районе Канадской котловины и Северного бордерленда, отражающаяся на карте Мохо Циркумпольной Арктики м-ба 1 : 5 000 000

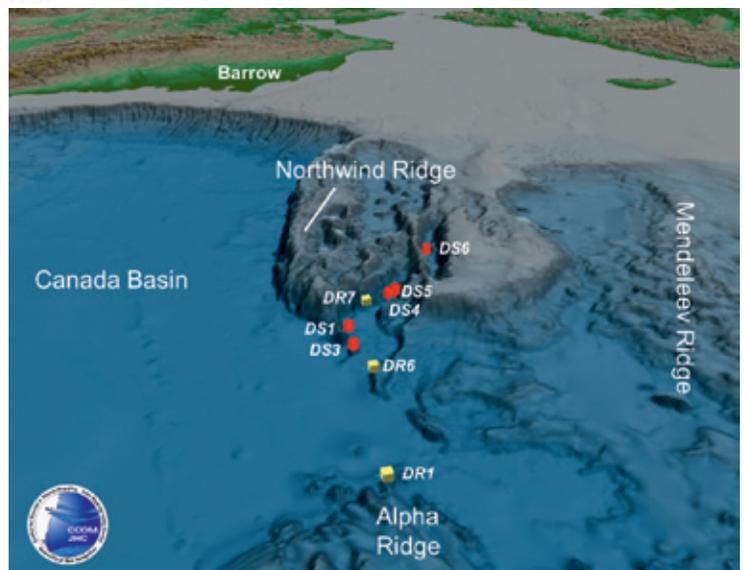


Рис. 13. Станции драгирования в рейсах ледокола «Healy» в 2008 (желтые точки) и 2009 гг. (красные точки). В пунктах DR-6, 7 и DS-3, 4 севернее Чукотского плато подняты базальты HALIP [41]

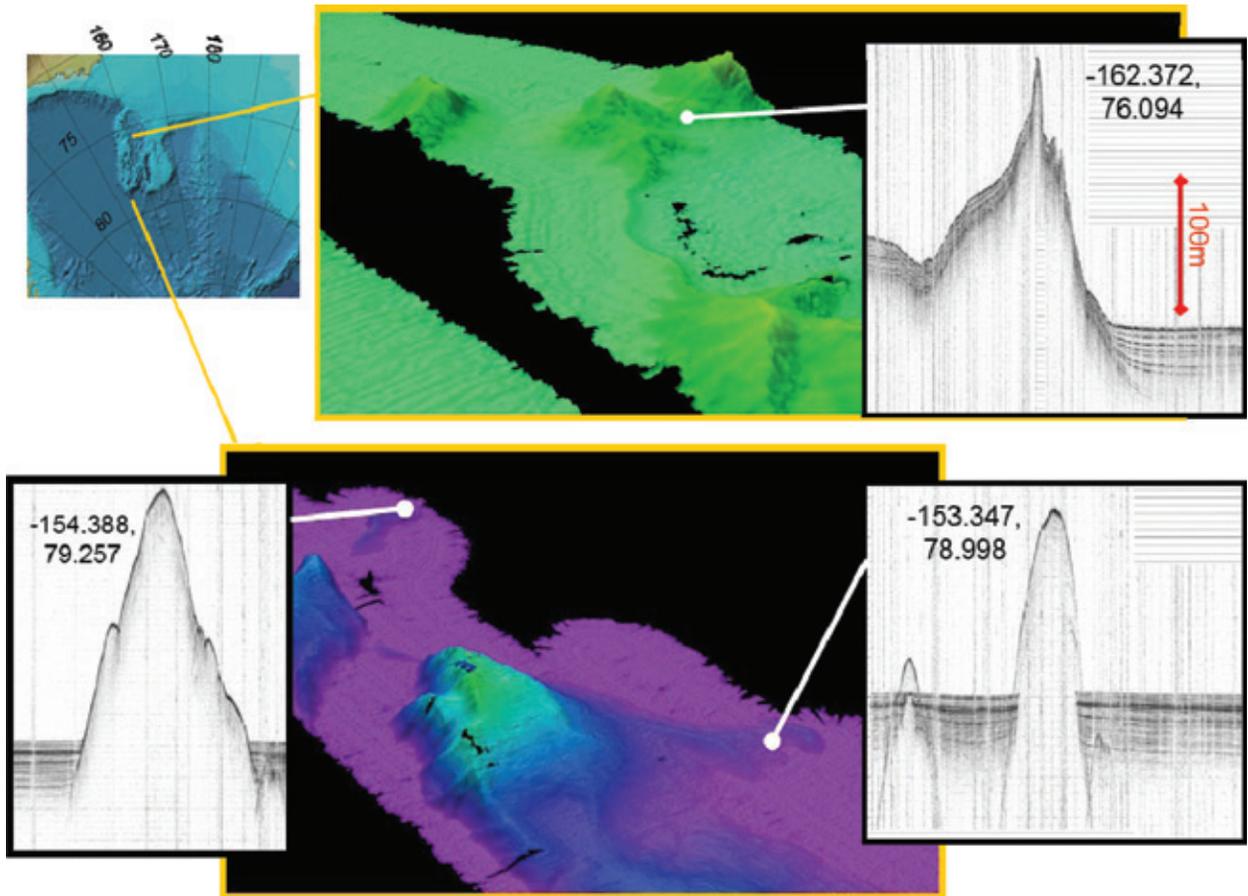


Рис. 14. Вулканические морфоструктуры морского дна, опробованные во время экспедиции «Healy-2008» [41]

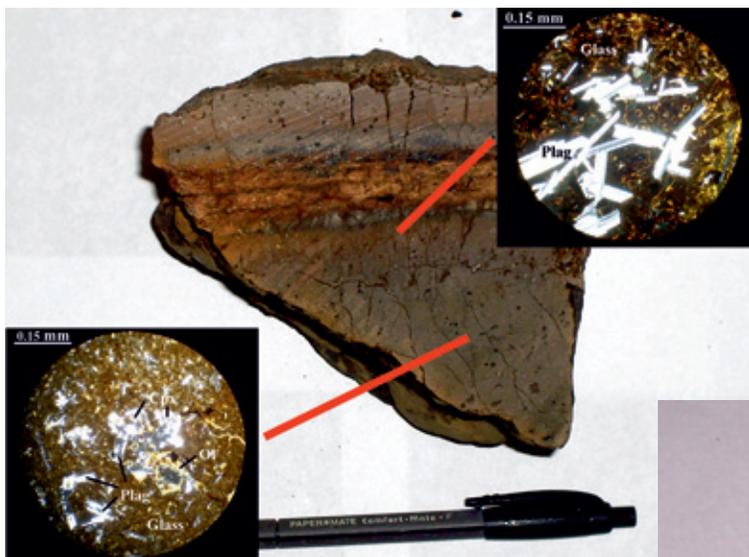


Рис. 15. Образец платобазальта, драгированного на симаунте к северу от Чукотского плато (DR-6) [41]

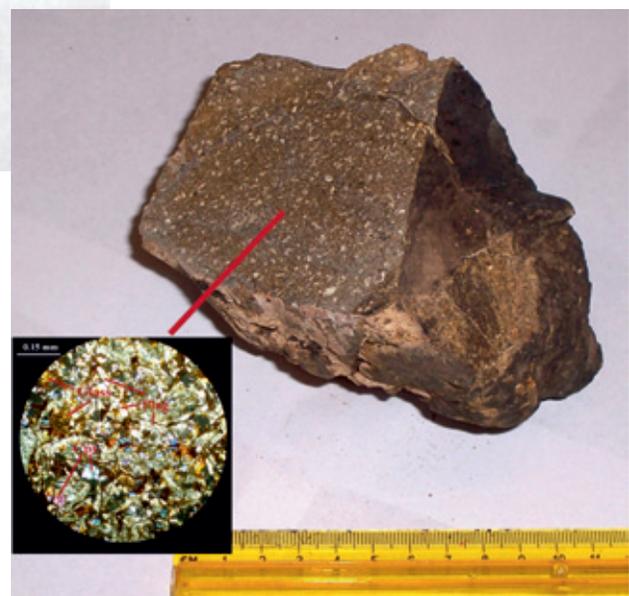


Рис. 16. Образец платобазальта, драгированный на северной оконечности Чукотского плато (DR-7) [41]

Менделеева может рассматриваться как глубоко-погруженная часть континентальной окраины Евразии, сохраняющей тесную связь со структурами прилегающей островной и материковой суши.

Авторы благодарят сотрудников ВСЕГЕИ Л. Н. Шарпёнок, Е. А. Кухаренко, А. Е. Кости-на и С. В. Кашина за проведение петрографических исследований, интерпретацию результатов анализов состава базальтов поднятия Менделеева; В. Н. Топорского и сотрудников Центральной химико-аналитической лаборатории (ЦХАЛ), сотрудников ЦИИ ВСЕГЕИ за быстрое и качественное исследование донно-каменного материала.

1. Богатиков О.А., Коваленко В.И., Шарков Е.В. Труды Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. Вып. 3. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. Связь во времени и в пространстве разных форматов. — М.: Наука, 2010. — 606 с.

2. Гусев Е.А., Сколотнев С.Г., Александрова Г.Н., Былинская М.Е. и др. Первые результаты изучения глубоководных илов с Северного полюса // Докл. РАН. 2008. Т. 421. № 6. — С. 790–794.

3. Гуцин А.В., Гусев Г.С. Геохимические особенности магматических пород и металлогеническая характеристика геодинамических обстановок // Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. — М., 1999. — С. 23–158.

4. Демина Л.И., Симонов Д.А. Вулканиды как индикаторы процесса континентальной коллизии // Докл. РАН. 1999. Т. 366. № 6. — С. 793–796.

5. Евдокимов А.Н., Кораго Е.А. Позднекайнозойский вулканизм Северной Евразии и ассоциирующие с ним глубинные ксенолиты // Российская Арктика. Геол. история. Минералогия. Геоэкология. — СПб.: Изд-во ВНИИОкеангеологии, 2002. — С. 252–266.

6. Кабаньков В.Я., Андреева И.А., Иванов В.Н. О происхождении донных осадков, поднятых на геотраверсе «Арктика-2000» в Северном Ледовитом океане (район поднятия Менделеева) // ДАН. 2004. Т. 399. № 2. — С. 224–226.

7. 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.

8. Кабаньков В.Я., Андреева И.А., Крупская В.В. и др. Новые данные о составе и происхождении донных осадков южной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Докл. РАН. 2008. Т. 419. № 5. — С. 653–655.

9. Кораго Е.А., Евдокимов А.Н., Столбов Н.М. Поздне-мезозойский и кайнозойский базитовый магматизм северо-запада континентальной окраины Евразии. — СПб.: Изд-во ВНИИОкеангеологии, 2010. Т. 215. — 174 с.

10. Масуренков Ю. П., Флеров Г. Б. Базальты острова Беннетта в Советской Арктике // Вулканология и сейсмология. 1989. № 1. — С. 36–53.

11. Петров О.В., Морозов А.Ф., Лайба А.А. и др. Архейские граниты на Северном полюсе // Строение и история развития литосферы. — М.: Paulsen, 2010. — С. 192–203.

12. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. третье, исправл. и доп. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. — 200 с.

13. 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. Спец. выпуск. Геология и полезные ископаемые окраинных морей Евразии. — М.: ГЕОС, 2012. — С. 29–40.

14. Рудакова А.В. Особенности строения и состава трапповой формации обрамления Хантайско-Рыбинин-

ского вала (Норильский район). Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. — М., 2012.

15. 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 Жюхова и Вилькицкого) // Геохимия. 1991. № 2. — С. 267–277.

16. Скляр Е.В., Гладкоуб Д.П., Донская Т.В. и др. Интерпретация геохимических данных. — М.: Интермет-инжиниринг, 2001. — 288 с.

17. Чернышева Е.А., Харин Г.С., Столбов Н.М. Базальтовый магматизм Арктических морей, связанный с деятельностью Исландского плюма в мезозое // Петрология. 2005. Т. 13. — С. 319–336.

18. Шварцахер В., Ханкенс К. Гальки, поднятые при драгировании в центральной части Северного Ледовитого океана // Геология Арктики. — М.: Мир, 1964. — С. 419–430.

19. Andronikov A., Mukasa S., Mayer L.A., Brumley K., 2008. First Recovery of Submarine Basalts from the Chukchi Borderland and Alpha / Mendeleev Ridge region, Arctic Ocean. EOS Trans. AGU, 89 (53), Fall Meet. Suppl., Abstract V41D-2124.

20. Brumley K., Mayer L.A., Miller E.L., Coakley B., 2008. Dredged Rock Samples from the Alpha Ridge, Arctic Ocean: Implications for the Tectonic History and Origin of the Amerasian Basin // Eos Trans AGU, 89(53), Fall Meet. Suppl. Abstract T43B-2013.

21. Brumley K., 2009. Tectonic geomorphology of the Chukchi Borderland: constraint for tectonic reconstruction models. Thesis for the Degree of Master of Science. University of Alaska, Fairbanks. — 116 p.

22. Brumley K., Miller E.L., Mayer L.A. et al., 2010. Petrography and U-Pb detrital zircon geochronology of metasedimentary strata dredged from the Chukchi Borderland, Amerasia Basin, Arctic Ocean. Abstract T31A-2144 presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13–17 Dec.

23. Brumley K., Miller E.L., Mayer L.A. et al., 2011. Petrography and U-Pb zircon geochronology of Caledonian age orthogneisses dredged from the Chukchi Borderland, Arctic Ocean. Abstract T51K-07 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5–9 Dec.

24. Cabanis B., Lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et / ou de contamination crustale // C. R. Acad. Sci. Ser. II. 1989. Vol. 309. — P. 2023–2029.

25. Clark D.L., Kowallis B.J., Gordon Medaris L., Deino A.L., 2000. Orphan Arctic Ocean metasediment clasts: Local derivation from Alpha Ridge or pre-2.6 Ma ice rifting? // Geology, 28, 1143–1146.

26. Coles R.L., Hannaford W., Haines G.V., 1978. Magnetic anomalies and the evolution of the Arctic // J.F. Sweeney (Editor), Arctic Geophysical Review. Earth Phys. Branch, Ottawa, Ont. — P. 51–66.

27. Floyd P.A., Winchester J.A. Magma-type and tectonic setting discrimination using immobile elements // Earth Planet. Sci. Lett. 1975. Vol. 27. — P. 211–218.

28. Gottlieb E.S. et al. Cretaceous Arctic magmatism: Slab vs. plume? Or slab and plume? / E.S. Gottlieb, E.L. Miller, A.V. Andronikov, K. Brumley, L.A. Mayer, S.B. Mukasa. Stanford University, Palo Alto, CA, USA, 2010.

29. Grantz A., Clark D., Phillips R., Srivastava S., 1998. Phanerozoic Stratigraphy of Nortwind Ridge, magnetic anomalies in the Canada Basin and the geometry and timing of rifting in the Amerasia Basin, Arctic Ocean // Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 110. N 6. — P. 801–820.

30. Grantz A., Pease V.L., Willard D.A. et al. Bedrock cores from 89°N: Implication for the geologic framework and Neogene paleoceanology of Lomonosov Ridge and a tie to the Barents Shelf // Geol. Soc. Amer. Bull. 2001. Vol. 113. N 10. — P. 1272–1284.

31. Ivanova N.M., Sakoulina T.S., Roslov Yu.V., 2006. Deep seismic investigation across the Barents–Kara region and Novozemelskiy Fold Belt (Arctic Shelf) // Tectonophysics, 420, 123–140.

32. Jackson H.R., Forsyth D.A., Johnson G.L., 1986. Oceanic affinities of the Alpha Ridge // *Marine Geology*, 73, 237–261.
33. Johnson G.L., Pogrebitsky J., Macnab R., 1994. Arctic structural evolution: Relationship to paleoceanography / R.D. Johannessen et al., eds. // *The polar oceans and their role in shaping the global environment: American Geophysical Union Geophysical Monograph* 85. – P. 285–294.
34. Jokat W., 2003. Seismic investigations along the western sector of Alpha Ridge, Central Arctic Ocean // *Geophysical J. International*, 152, 185–201.
35. King E.R., Zietz I., Alldredge R. Magnetic data on the structure of the Central Arctic Region // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1966. Vol. 77. – P. 619–646.
36. Maher M.D. Jr., 2001. Manifestations of the Cretaceous High Arctic Large Igneous Province in Svalbard // *J. of Geology*, 109, 91–104.
37. Mayer L.A., Brumley K., Andronikov A., 2008. Recent Mapping and Sampling on the Chukchi Borderland and Alpha/Mendeleev Ridge // *American Geophysical Union (AGU), San Francisco, CA, USA, Vol. 89. No. 53, Dec 15 – Dec 19. Conference Abstract.*
38. Michael P.J., Langmuir C.H., Dick H.J.B. et al. Magmatic and amagmatic seafloor generation at the ultraslow-spreading Gakkel Ridge, Arctic Ocean // *Nature*. 2003. Vol. 423. N 26. – P. 956–961.
39. Miller E.L., Toro J., Gehrels G. et al. New insights into Arctic paleogeography and tectonics from U–Pb detrital zircon geochronology // *Tectonics*. 2006. Vol. 25. TC3013.
40. Mukasa S., Andronikov A., Mayer L., Brumley K., 2009. Geochemistry and geochronology of the first intraplate lavas recovered from the Arctic Ocean // *Portland GSA Annual Meeting (18–21 October 2009). Paper No. 138-11.*
41. Mukasa S.B., Mayer L.A., Brumley K., Andronikov A.V. New Geochemical and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Data for the First Intraplate Lavas Recovered from the Arctic Ocean: Bearing on the Origin of the Amerasian Basin // *International Scientific Workshop on Extended Continental Shelf in the Arctic. Portsmouth, New Hampshire, USA, 7–8 November 2012 (oral communication).*
42. Mühe R., Bohrmann H., Garbe-Schonberg D., Kassens H., 1997. E-MORB glasses from the Gakkel Ridge (Arctic Ocean) at 87° N: Evidence for the Earth's most northerly volcanic activity // *Earth and Planet. Sci. Lett.* Vol. 152. P. 1–9.
43. Nauret F., Snow J.E., Hellebrand E., Weis D., 2011. Non-peridotitic source in mid-ocean ridge melts from Lena Trough, Arctic Ocean // *J. Petrol.*, 52, 1185–1206.
44. Phillips R.L., Grantz A., 2001. Regional variations in provenance and abundance of ice-rafted clasts in Arctic Ocean sediments: implications for the configuration of Late Quaternary oceanic and atmospheric circulation in the Arctic // *Marine Geology*. Vol. 172. 91–115.
45. Rodionov N., Petrov O., Shevchenko S. et al. Geochronology of zircons from hemipelagic sediments – a new insight into Arctic geology // *Abstracts of the 34th International Geological Congress, 5–10 August 2012, Brisbane, Australia.*
46. Ruth Jackson. Review of the Alpha Ridge // *International Scientific Workshop on Extended Continental Shelf in the Arctic. Dartmouth, New Scotia, Canada, 11 November 2009 (oral communication).*
47. Shokalsky S., Morozov A., Petrov O. et al. Detrital zircons of deep-sea sediments of the Arctic Ocean – key to the understanding of High Polar Arctic tectonics // *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 14. EGU2012-7228. 2012. EGU General Assembly 2012.
48. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes / A.D. Saunders and M.J. Norry (Eds.) // *Magmatism in the Oceanic Basins*. Blackwell. Oxford Basins. Blackwell. Oxford, 1989. – P. 313–345.
49. Tarduno J.A., Brinkman D.B., Renne P.R. et al., 1998. Evidence for extreme climatic warmth from Late Cretaceous Arctic vertebrates // *Science*, 282, 2241–2244.
50. Trine Dahl-Jensen, H. Ruth Jackson, Deping Chian, John W. Shimeld, Gordon Oakey. Стрoение коры от моря Линкольна до хребта Ломоносова, Северный Ледовитый океан // *Abstracts on the 33rd IGC, Oslo, 2008.*
51. Van Wagoner N.A., Williamson M., Robinson P., Gibson I., 1986. First samples of acoustic basement recovered from the Alpha Ridge, Arctic Ocean: new constraints for the origin of the ridge / Johnson, G. L. & Kaminuma, K. (eds.) // *Polar Geophysics. J. Geodyn.* 6, 177–136.
52. Weber J.R., Sweeney J.F. Ridges and basins in the Central Arctic Ocean // *The Arctic Ocean Region. Vol. L, the Geology of North America / A. Grantz, J.L. Johnson, J.F. Sweeney (Eds.). The Geological Society of America, Boulder, 1990, 305–336.*

Морозов Андрей Федорович – канд. геол.-минер. наук, зам. руководителя, Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). <rosnedra@rosnedra.com>.

Петров Олег Владимирович – канд. геол.-минер. наук, доктор экон. наук, ген. директор, ВСЕГЕИ. <vsmdir@vsegei.ru>.

Шокальский Сергей Павлович – канд. геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ. <sergey_shokalsky@vsegei.ru>.

Кашубин Сергей Николаевич – доктор геол.-минер. наук, директор центра, ВСЕГЕИ. <sergey_kashubin@vsegei.ru>.

Кременецкий Александр Александрович – доктор геол.-минер. наук, директор, ИМГРЭ. <imgre@imgre.ru>.

Шкатов Михаил Юрьевич – канд. техн. наук, ген. директор, ОАО «Севморгео». <info@sevmorgeo.com>.

Каминский Владимир Дмитриевич – доктор геол.-минер. наук, директор, ВНИИОкеангеология. <okeangeo@vniio.ru>.

Гусев Евгений Анатольевич – зав. отделом геол. картирования, ВНИИОкеангеология. <gus-evgeny@yandex.ru>.

Грикуров Гаррик Эдуардович – гл. науч. сотрудник, ВНИИОкеангеология. <grikurov@mail.ru>.

Рекант Павел Витольдович – вед. науч. сотрудник, ВНИИОкеангеология. <rekant@mail.ru>.

Шевченко Сергей Семенович – канд. геол.-минер. наук, зам. ген. директора, ВСЕГЕИ. <sergey_shevchenko@vsegei.ru>.

Сергеев Сергей Андреевич – канд. геол.-минер. наук, директор ЦИИ ВСЕГЕИ. <sergey_sergeev@vsegei.ru>.

Шатов Виталий Витальевич – канд. геол.-минер. наук, зам. ген. директора по науке, ВСЕГЕИ.

<vitally_shatov@vsegei.ru>.