

П. В. РЕКАНТ, О. В. ПЕТРОВ, С. Н. КАШУБИН, А. В. РЫБАЛКА (ВСЕГЕИ),  
И. Ю. ВИНОКУРОВ (Севморгео), Е. А. ГУСЕВ (ВНИИОкеангеология)

## История формирования осадочного чехла глубоководной части арктического бассейна по данным сейсмических исследований МОВ-ОГТ

Статья базируется на материалах интерпретации сводного сейсмического профиля, пересекающего все основные морфоструктуры Северного Ледовитого океана (СЛО): котловину Амундсена, хребет Ломоносова, котловину Подводников, поднятие Менделеева, Чукотскую впадину и Чукотское плато. На базе авторской сейсмостратиграфической модели строения осадочного чехла выполнены стратиграфическое расчленение сейсмического разреза и его увязка с существующим буровыми и геологическими данными. Палеогеографические построения вдоль линии сводного сейсмического профиля служат обоснованием мезо-кайнозойской эволюции седиментационных бассейнов глубоководного сегмента Российской Арктики. Комплексный анализ сейсмических и геологических данных по глубоководному бассейну СЛО позволил высказать предположение о гетерогенности фундамента его основных структур.

Ключевые слова: Арктика, Северный Ледовитый океан, осадочный чехол, акустический фундамент, история формирования, сейсмический анализ.

P. V. REKANT, O. V. PETROV, S. N. KASHUBIN, A. V. RYBALKA (VSEGEI),  
I. YU. VINOKUROV (Sevmorgeo), E. A. GUSEV (VNIIOkeangeologiya)

## History of formation of the sedimentary cover of Arctic basin. Multichannel seismic approach

The paper is based on interpretation of the composite seismic line, crossing most of Arctic structures: Amundsen Basin, Lomonosov Ridge, Podvodnikov Basin, Mendeleev Rise, Chukchi Borderland. The seismic, borehole and geological data is linked in the frame of author's seismic model. Paleoenvironmental reconstruction made along the composite seismic line substantiated the evolution of the sedimentary basins during last 100 MA. The heterogeneous composition of the basement of most Arctic structures is considered from comprehensive seismic and geological data analysis.

Keywords: Arctic basin, Arctic Ocean, sedimentary cover, basement, evolution, seismic data.

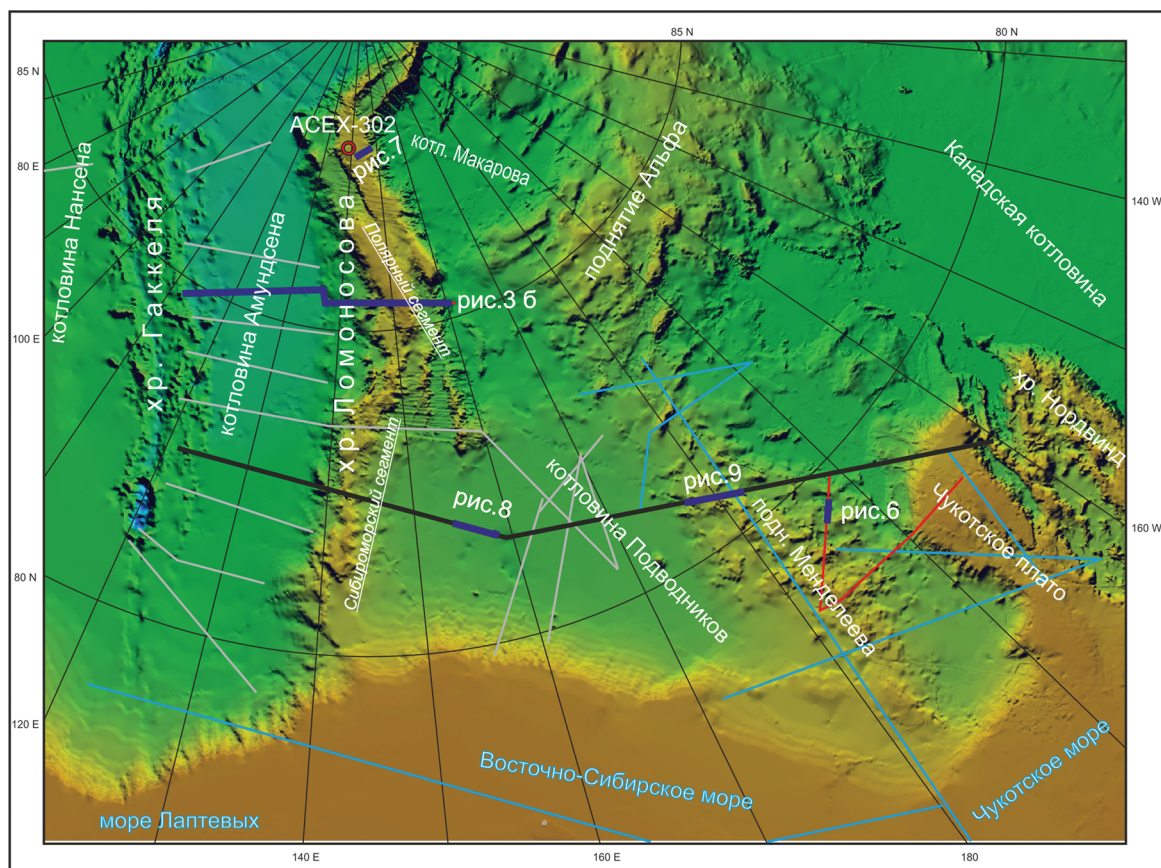
**Введение.** Значительный объем сейсмических исследований в глубоководной части Северного Ледовитого океана (СЛО), выполненный в последние годы усилиями России, США, Германии, Дании, Канады и других приарктических стран, позволил существенно расширить наши знания о мощности и структуре осадочного чехла Центральной Арктики.

Однако из-за разобщенности массива данных подавляющее число публикаций последних лет, посвященных сейсмостратиграфии осадочного чехла, опирается на весьма ограниченный объем данных в рамках одного регионального профиля и/или одной морфоструктуры [21, 23, 34]. Серьезной проблемой таких работ является невозможность обзора особенностей строения разреза на региональном уровне, а также сложность с привязкой сейсмической модели к основным геологическим реперам в регионе.

Наблюдения МОВ-ОГТ, выполненные во время российских высокоширотных экспедиций «Арктика-2011» и «Арктика-2012», позволили создать систему сейсмических профилей в глубоководной части СЛО и в зоне сопряжения со структурами шельфов восточного сектора Российской Арктики. На базе этих сейсмических исследований был построен сводный сейсмический профиль протя-

женностью более 1400 км, пересекающий с северо-запада на юго-восток котл. Амундсена, хр. Ломоносова, котл. Подводников, подн. Менделеева, Чукотскую впадину и Чукотское плато (рис. 1). Обработка и интерпретация этого сводного профиля с использованием современных процедур дали возможность построить серию палеопрофилей, позволяющих проследить историю формирования осадочного чехла в пределах структур глубоководной части Арктического бассейна за последние 100 млн лет.

**Методы сейсмических исследований.** Сейсмические наблюдения на сводном профиле в глубоководной части СЛО выполнены по заказу Федерального агентства по недропользованию «Роснедра» во время двух высокоширотных экспедиций «Арктика-2011» и «Арктика-2012». В 2011 г. работы проводились ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» на научно-исследовательском судне «Академик Федоров» под проводкой атомного ледокола «Россия», в 2012 г. — ОАО «Севморгео» на ледоколе «Диксон» под проводкой ледокола «Капитан Драницын». Операторами сейсмических работ выступали сервисные компании «ION – GX Technology» (США) и «WGP Exploration Limited» (Великобритания) [11].



**Рис. 1.** Схема основных сейсмических профилей в глубоководной части СЛО

1, 2 – профили МОВ-ОГТ экспедиций «Арктика-2012» (1) и «Арктика-2011» (2); 3 – сейсмические профили зарубежных экспедиций, использованные в работе; 4 – сводный сейсмический профиль; 5 – скв. АСЕХ-302 [20]; 6 – фрагменты сейсмических профилей, приводимые в статье

Наблюдения выполнялись по методике МОВ-ОГТ с использованием 48-канальной буксируемой сейсмической косы SerCEL SEAL Streamer длиной 600 м с шагом между каналами 12,5 м. Возбуждения сейсмического сигнала производились групповым пневмоисточником Volt APG общим объемом 2050 куб. дюймов (33,6 л) при рабочем давлении 135-145 атм. Интервал между возбуждениями составил 50 м при скорости судна по профилю 4–5 узлов. Номинальная кратность ОГТ 6, длительность записи 15 с, шаг дискретизации 2 мс.

Обработка сейсмических материалов по сводному профилю проводилась по системе Echos (Paradigm Geophysical) в Центре глубинной геофизики ВСЕГЕИ с учетом результатов предшествовавшей обработки фрагментов этого профиля в ОАО «Севернефтегаз» и ОАО «Севморгео». Задачами обработки являлись получение временных разрезов с высоким разрешением; прослеживание наклонных отражателей ниже поверхности акустического фундамента; получение глубинных разрезов на основе скоростной модели. Последняя строилась с учетом данных отраженных и преломленных волн, полученных на акустических бучах.

Граф обработки включал следующие основные процедуры: создание единой геометрии с исключением продублированных данных на перекрывающихся интервалах профилей; исключение постоянной составляющей амплитуд; подавление низкочастотного шума за счет частотной фильтрации; интерполяция пропущенных сейсмограмм об-

щей точки возбуждения; подавление кратных волн с использованием технологии SRME; коррекция амплитуд за сферическое расхождение волнового фронта; подавление когерентных помех, нерегулярного шума по сейсмограммам ОТВ; сейсмограммная нормировка амплитуд; интерактивный анализ скоростей суммирования по ОГТ; деконволюция сжатия; получение временного разреза – суммирование по ОГТ; формирование скоростной модели для миграции; миграция Кирхгофа после суммирования; FX-деконволюция; формирование скоростной модели для пересчета временного разреза в глубинный.

Сводный временной сейсмический разрез по профилю общей протяженностью 1424 км приведен на рис. 2. Геологическая интерпретация этого разреза опиралась на результаты бурения скв. АСЕХ-302 на хр. Ломоносова и материалы опубликованных отечественных и зарубежных сейсмических исследований в глубоководной части СЛО.

**Геологические данные.** Главным источником геологических данных для стратиграфического расчленения кайнозойской части разреза СЛО в настоящее время являются материалы по скв. -АСЕХ-302, пробуренной на гребне хр. Ломоносова в 2004 г. [20, 39]. Установлено существование дельтовых, прибрежно-морских и неритовых фаций в нижней позднемиоценовой – эоценовой части разреза скважины. Первые свидетельства глубоководных обстановок осадконакопления, сходных с современными, в разрезе фиксируются

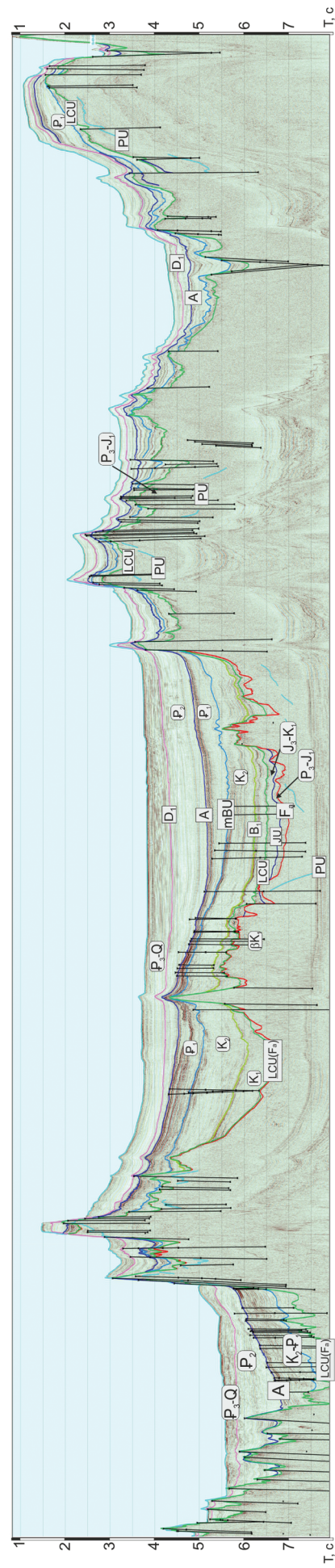
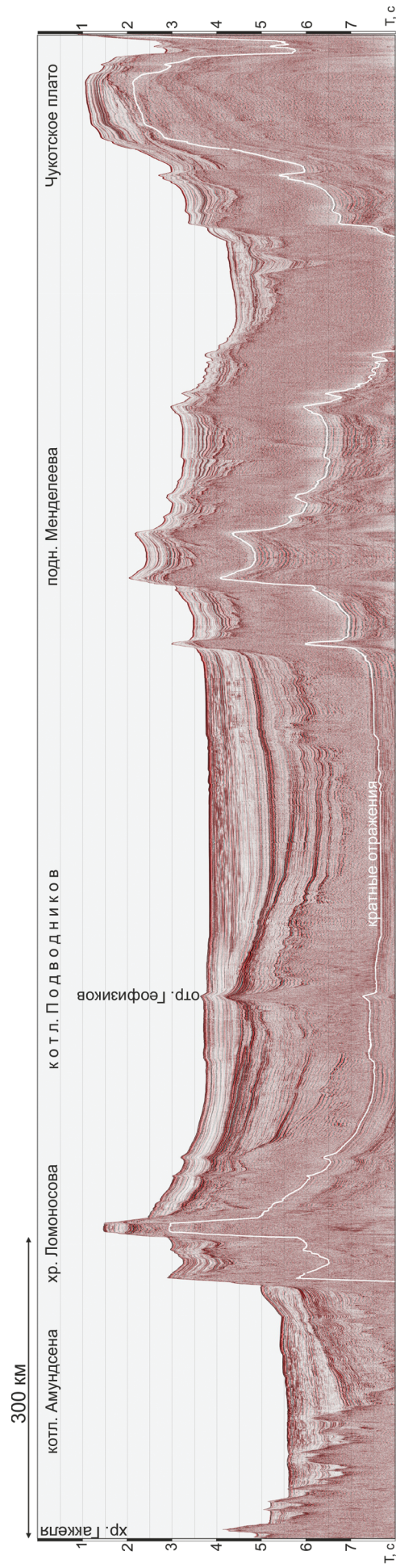


Рис. 2. Временной сейсмический разрез по сводному профилю МОВ-ОГТ, составленному из профилей экспедиций «Арктика-2011» и «Арктика-2012». Положение профиля см. на рис. 1



лишь в интервале 0–198 м [20, 39]. Кроме того, в разрезе 400-метровой толщи осадочных отложений, сформировавшихся за последние 56 млн лет, установлены два стратиграфически значимых перерыва (рис. 3) – важных маркера при корреляции сейсмических данных.

Верхний фиксируется на границе сейсмокомплексов LR-4 и LR-5 (индексация отражающих горизонтов по [31]) и выражается в точке бурения параллельным стратиграфическим несогласием. Именно с этим перерывом связывается переход от морского осадконакопления к океаническому. По палеонтологическим данным, полученным сразу после проведения буровых работ, предполагается, что перерыв имеет длительность около 26 млн лет, а из разреза выпадают отложения от позднего эоцена до раннего миоцена [20]. Сейчас данная точка зрения преобладает как в отечественных, так и в зарубежных исследованиях.

Вместе с тем, существует точка зрения о намного более коротком перерыве на границе эоцена и олигоцена [8, 17, 41]. На основе геохимических исследований Re-Os изотопов предполагается, что перерыв длительностью не более 400 тыс. лет имел место в самом конце эоцена ~36 млн лет назад [41]. Кроме того, на основании анализа флоры и палинологических комплексов на о. Бельковский вскрыт непрерывный разрез олигоцена – нижнего миоцена (нерпичинская свита), а существование непродолжительного перерыва предполагается на контакте

нерпичинской и анжуйской свит в подошве олигоцена [15, 35].

По нашему мнению, такая модель в настоящее время является наиболее обоснованной и подтверждается литологическими, каротажными и сейсмическими данными на хр. Ломоносова. Во-первых, в низах миоцена на границе сейсмокомплексов LR-4 и LR-5 (рис. 3) не отмечается контрастных изменений плотности отложений, характерных для длительного перерыва. Во-вторых, скорость звука, согласно каротажным данным [20], на этой границе не только не увеличивается, а наоборот, заметно уменьшается вниз по разрезу. В-третьих, волновая картина на этой границе не претерпевает принципиальных изменений, а несогласие носит скрытый характер на большей части хр. Ломоносова, и лишь на перегибах к склонам вдоль этой границы фиксируются отчетливые следы размыва подстилающих отложений (рис. 4).

Второй стратиграфически значимый перерыв совпадает с региональной эрозионной границей LU на контакте сейсмокомплексов LR-2 и LR-3 [20] (рис. 3). В точке бурения она отделяет горизонтально-слоистую толщу нелитифицированных осадков кайнозоя (LR-3 – LR-6) от акустического фундамента (LR-2 и LR-1). Стратиграфический объем этого перерыва установить достаточно сложно. Его верхняя граница датируется концом палеоцена (~56 млн лет), а нижний предел, по палинологическим данным, не моложе ~80 млн лет [20]. В пользу

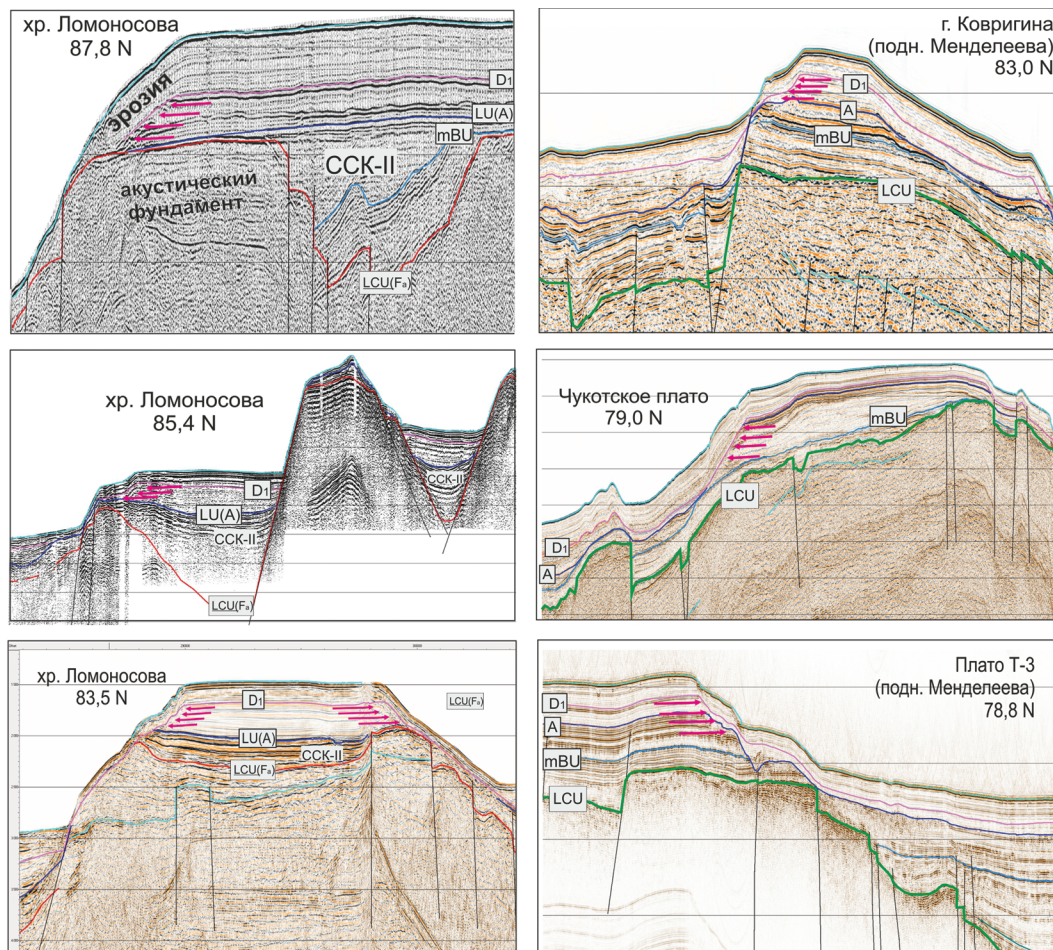


Рис. 4. Фрагменты сейсмических профилей через вершины основных поднятий СЛО. Стрелками обозначены области размыва отложений под отражающим горизонтом D<sub>1</sub>

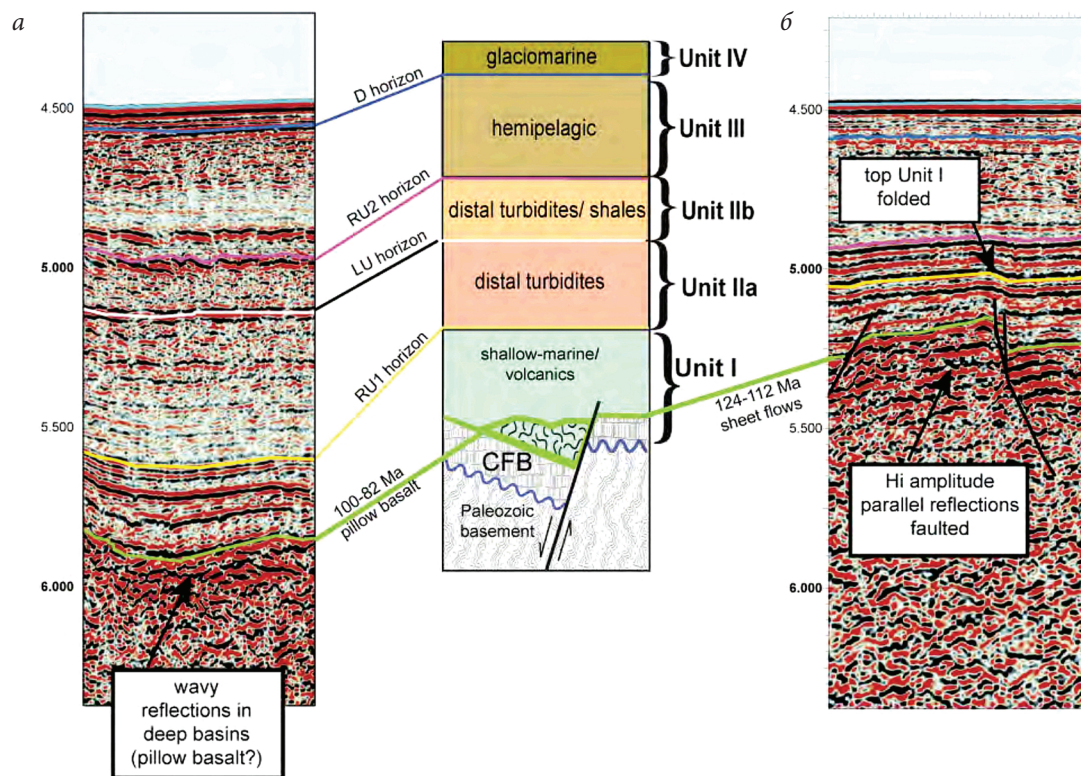


Рис. 5. Геологическая интерпретация сейсмических данных по акустическому фундаменту подн. Менделеева [21]

*a* – «волнистые» высокоамплитудные рефлекторы в основании сейсмокомплекса I (Unit I), соответствующие верхнемеловым подушечным базальтам отр. Хили [26]; *б* – плоскопараллельные высокоамплитудные рефлекторы в верхних горизонтах акустического фундамента, предположительно отвечающие покровам нижнемеловых платобазальтов HALIP [18]

существования длительного перерыва в этой части разреза говорят следы глубокого размыва пород акустического фундамента, а также существенный скачок пластовых скоростей на этой границе.

В отличие от кайнозойской части разреза надежные геологические реперы для выяснения природы акустического фундамента (АФ) в глубоководном бассейне отсутствуют. Еще недавно представления о его строении базировались в основном на характеристиках потенциальных полей, а также на сопоставлении скоростных параметров разреза с опорными районами шельфа, островов или континентального обрамления. Из-за тяжелых ледовых условий в глубоководном бассейне СЛО удавалось использовать лишь сейсмические системы с короткой базой. В результате структура пород ниже отражающей границы LCU (Low Cretaceous Unconformity) не освещалась, и эту границу большинство исследователей признавали кровлей акустического фундамента.

Первые прямые геологические данные о строении акустического фундамента получены в экспедиции CESAR. По результатам драгирования на хр. Альфа высказано предположение о том, что выветрелые базальты слагают верхнюю часть акустического фундамента центральной части хр. Альфа и с несогласием перекрываются морскими тепловодными осадками верхнего мела [46]. В 1998 г. верхнемеловые (82 млн лет) щелочные базальты были подняты грунтовой трубкой с хр. Альфа [32]. По результатам геологического пробоотбора грунтовыми трубками на восточном склоне хр. Нордвинд выявлены палеозойские осадочные породы

платформенного типа [27]. Первые определения карбонатных пород позднего силура – раннего девона, среднего карбона и ранней перми на подн. Менделеева получены по материалам экспедиции «Арктика-2000» [12].

Значительную роль в сейсмическом облике верхней части акустического фундамента в Арктике играют базальтовые комплексы. Два импульса базальтового вулканизма в интервалах 124–112 и 100–82 млн лет фиксируются по периферии СЛО на Земле Франца-Иосифа, островах Канадского архипелага, на севере Гренландии и Шпицбергене [25, 45]. Апт-альбские базальты предполагаются в основании рифтогенных прогибов на Лаптевоморском шельфе [13], а также в низах клиноформной толщи под континентальным склоном Восточно-Сибирского моря [43].

В Американо-Арктическом бассейне базальтовые комплексы ассоциируются с высокоширотной Арктической магматической провинцией (HALIP), совпадающей с областью высокоамплитудного знакопеременного аномального магнитного поля в котл. Подводников, на подн. Альфа-Менделеева и в смежных областях. Согласно последним датировкам, образование вулканитов здесь происходило в два этапа: в субаэральных условиях на стадии раннего континентального рифтинга в раннем мелу – 124–112 млн лет назад и позднем мелу – 100–82 млн лет назад в мелководной прибрежно-морской обстановке [21, 22, 26, 38, 40].

Однако несмотря на значительные (более 1,5 млн км<sup>2</sup>) площади HALIP, на сегодня имеется не более десяти станций геологического опробования,

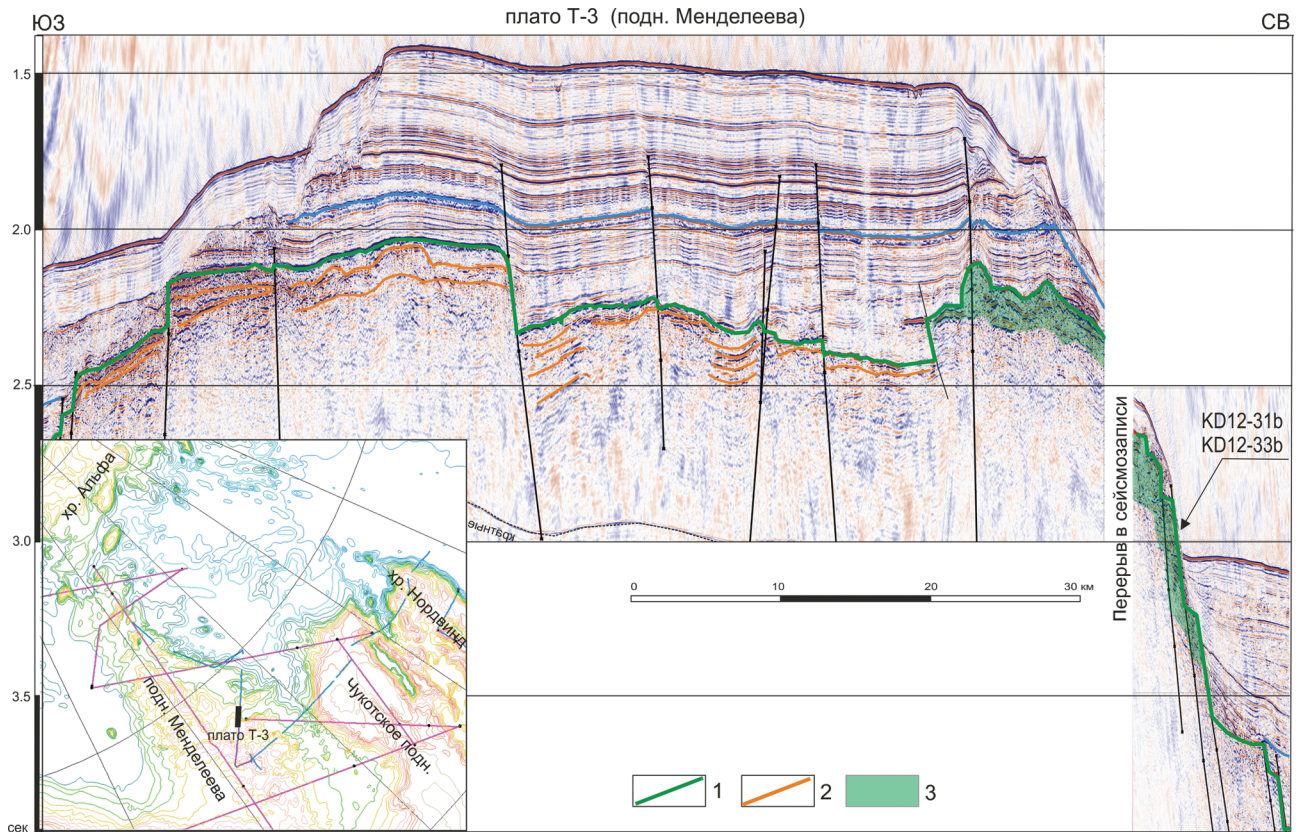


Рис. 6. Фрагменты сейсмических профилей HLY05-521 и HLY05-520 [47], проходящих через плато Т-3 на подн. Менделеева. Стрелкой показано положение скважин KD12-31b и KD12-33b, вскрывших меловые базальты [11]

1 – отражающий горизонт LCU, 2 – стратифицированная толща осадочных платформенных отложений палеозойского возраста, 3 – меловые базальты

надежно свидетельствующих о наличии вулканитов в верхних горизонтах акустического фундамента региона. Данные о наличии пачки переслаивающихся базальтов, их туфов и осадочных пород в верхней части акустического фундамента подн. Менделеева получены по результатам сейсмических исследований международной экспедиции на ледоколе «Nealy» в 2005 г. Здесь ниже поверхности акустического фундамента установлены толщи низкоскоростных пород ( $V_{пл} = 2,3-4,0$  км/с), характеризующиеся как высокоамплитудными протяженными рефлекторами, так и яркими, волнистыми отражающими площадками [24]. Сходные серии ярких субпараллельных рефлекторов в основании осадочного чехла в южной части хр. Альфа и северной части Канадской котловины описаны также и другими исследователями [21, 30, 44] (рис. 5).

По результатам экспедиции «Арктика-2012» на склонах подводной возвышенности Трукшина и плато Т-3 на подн. Менделеева в скважинах KD12-31b и KD12-33b вскрыты трахибазальты, трахиандезиты и их гиалокластиты (рис. 6). Возраст цирконов из трахибазальтов возвышенности Трукшина составляет 127 млн лет [11].

**Стратиграфическая привязка сейсмических границ в осадочном чехле.** В настоящей статье используется сейсмическая модель, разработанная при составлении Океанской серии листов Гостгеолкарты-1000 [2, 16]. Стратиграфическая корреляция опорных горизонтов выполнена по сети корреляционных ходов с Лаптевоморской континентальной окраины [5], от

скв. ACEX-302 в приполюсной части хр. Ломоносова [20]. Кроме того, прослеживание основных отражающих горизонтов от скважин Попкорн, Клондаик и Крекерджет [37], пробуренных на шельфе Аляски, позволяет вслед за Л. А. Дараган-Сушовой с соавторами [4, 10] и В. А. Виноградовым с соавторами [6] предположить наличие верхнеэлмирского терригенного комплекса в основании разреза котл. Подводников.

Оценка скоростных характеристик разреза приводится по материалам опубликованных работ [23, 33], а также данных МПВ экспедиций «Арктика-2011» и «Арктика-2012». Стратиграфическая привязка нижней части разреза, кроме того, подтверждается палеонтологическими и изотопными определениями возраста образцов донно-каменного материала, полученными за последние 15 лет [3, 11, 12, 28].

Основными сейсмическими реперами в регионе являются три региональных отражающих горизонта –  $D_1$ , А и LCU, кроме того, выделяются три локальные отражающие границы – mBU, JU и PU. Ниже приводится их описание сверху вниз по разрезу.

Самый верхний отражающий горизонт  $D_1$  совпадает с границей перехода от мелководно-морского к глубоководному океаническому осадконакоплению примерно 36 млн лет по одним [41] (рис. 3) либо 18 млн лет назад по другим данным [20]. Таким образом, рефлектор  $D_1$  залегает в основании толщи глубоководных осадков, которая облекает неровности подстилающего рельефа. Ее волно-

вая картина характеризуется слоистой записью, параллельной дну, а динамические и скоростные характеристики разреза слабо варьируют по латерали. Сам же горизонт  $D_1$  обладает характерным структурным стилем, позволяющим проследить его на обширных пространствах глубоководного океанического бассейна.

Вблизи места бурения скв. АСЕХ-302 на склонах хр. Ломоносова по отражающему горизонту  $D_1$  установлено эрозионное несогласие (рис. 4) с размывом подстилающих отложений. Аналогичное несогласие удастся проследить вдоль гребня хр. Ломоносова на юг вплоть до  $81^\circ$  с.ш. и затем по системе корреляционных ходов протрассировать через котл. Подводников до подн. Альфа-Менделеева и далее на Чукотское плато (рис. 4).

Таким образом, региональное прослеживание отражающего горизонта  $D_1$  позволяет отделить толщу синокеанических от подстилающих мелко-водно-морских отложений в пределах всей области Центрально-Арктических поднятий.

Отражающий горизонт А, благодаря своему сейсмическому облику и устойчивым динамическим характеристикам, легко распознается на всех сейсмических профилях [9, 33, 42]. Он располагается в кровле пачки высокоамплитудных рефлекторов, повсеместно фиксируемой в разрезах глубоководных котловин Макарова, Подводников и восточной части котл. Амундсена. Иногда амплитуда этого отражающего горизонта сравнима с амплитудой сейсмического отражения от дна.

Несмотря на это, стратиграфическая привязка этого рефлектора до сих пор остается дискуссионной. В. В. Буценко и соавторы [42] интерпретируют этот горизонт (RU – Regional Unconformity в их интерпретации) как предмиоценовое несогласие. А. А. Черных и А. А. Крылов [17], опираясь на сходство волновых картин, сопоставляют его с подошвой сейсмокомплекса LR-4, образовавшегося до начала глубокого погружения.

По-нашему мнению, опорный горизонт А, наблюдаемый в бассейнах, отвечает региональному угловому несогласию LU [33], которое фиксиру-

ется на всех сейсмических профилях, пересекающих гребневую зону хр. Ломоносова между  $81^\circ$  и  $88^\circ$  с.ш. Надежность такой корреляции может быть проиллюстрирована сводным профилем по  $85^\circ$  с.ш. (рис. 3, б), где отчетливо видно, что отражающий горизонт LU(A), сохраняя свои динамические характеристики, уверенно трассируется с вершинной части хр. Ломоносова через серию грабенов его западного склона в котл. Амундсена, а также через систему грабенов восточного склона на восток в котл. Подводников (рис. 2), и далее до Чукотского плато.

Стратиграфическая привязка региональной границы LU в настоящее время не вызывает сомнений. Согласно буровым данным [20], в гребневой зоне хр. Ломоносова фиксируется сокращение разреза за счет размыва отложений палеоцена и, возможно, части верхнего мела. Низкоскоростные отложения эоцена (LR-3 с  $V_{пл} = 2,2$  км/с) здесь с глубоким размывом и угловым несогласием залегают на породах акустического фундамента (LR-2 с  $V_{пл} = 4,0$  км/с) [31]. Наличие дислокаций в акустическом фундаменте говорит о тектонической перестройке морфоструктурного плана региона. По палеонтологическим данным, конец этого перерыва фиксируется примерно 56 млн лет назад [20].

По-видимому, формирование горизонта А следует сопоставить с окончанием этапа тектонической перестройки региона, начавшегося, очевидно, в позднем мелу. На участках, где возможен полный разрез раннего кайнозоя (в грабенах на хр. Ломоносова, а также в котловинах Макарова и Подводников), под этим горизонтом фиксируется ССК II с комплексом высокоамплитудных рефлекторов в кровле (рис. 3, б; 8). Его мощность значительно увеличивается в грабенах, быстро уменьшается в сторону поднятий, что говорит о формировании толщи в ходе глубокого размыва поднятых тектонических блоков и аккумуляции осадка в смежных понижениях. Кроме того, значения пластовых скоростей в этой толще ( $V_{пл} = 2,5-3,6$  км/с) занимают промежуточное положение между скоростями в акустическом фундаменте и в отложениях

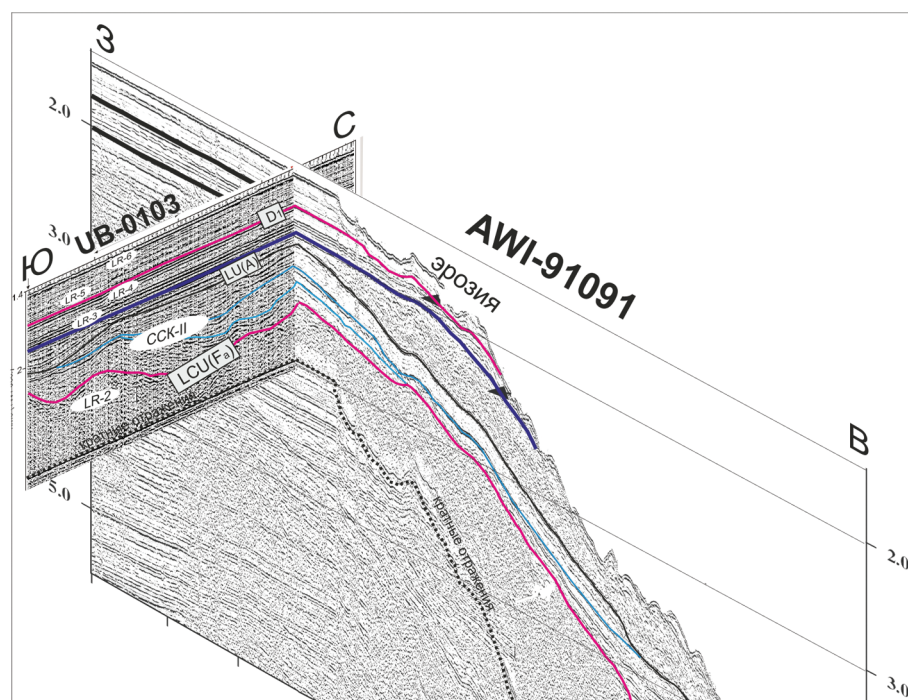


Рис. 7. Фрагменты сейсмических профилей UB-0103 [19] и AWI-91091 [33]. Ниже регионального несогласия LU(A) наблюдается ССК II, сформированный предположительно на кампан-палеоценовом этапе за счет глубокого размыва относительно приподнятых тектонических блоков и аккумуляции осадков в смежных понижениях. Положение профиля см. на рис. 1

эоцена. Таким образом, ССК II следует интерпретировать как своеобразный молассовый комплекс, сформировавшийся, очевидно, в завершающую фазу этапа тектонической активизации в регионе.

Сейсмический отражающий горизонт **mBU** (Mid-Brookian Unconformity) в основании кайнозойского разреза детально описан для американской части Чукотского шельфа, где его стратиграфическое положение определено по буровым данным [29, 37]. В глубоководном бассейне СЛО, в отличие от шельфовых областей, этот горизонт не является опорным, поскольку по нему не фиксируется заметных несогласий.

Сейсмический комплекс ССК III, кровлей которого является отражающий горизонт **mBU**, характеризуется плоскопараллельными среднеамплитудными рефлекторами. В непосредственной близости к поднятиям акустического фундамента наблюдается заметное усиление амплитуд внутренних рефлекторов, пластовые скорости здесь варьируют в пределах от 3,2 до 4,0 км/с. Фациальные особенности этого сейсмокомплекса в океаническом бассейне не определены из-за размыва соответствующего стратиграфического интервала в скв. АСЕХ-302.

Самостоятельной задачей при региональных корреляциях отражающего горизонта **LCU** является определение стратиграфического диапазона осадочного чехла, а также природы пород акустического фундамента (АФ). На большинстве сейсмических профилей, выполненных к концу XX в. в СЛО, поверхность акустического фундамента сопоставляется с региональным отражающим горизонтом **LCU**. Наиболее надежная стратиграфическая привязка этого отражающего горизонта выполнена по буровым данным на шельфе Аляски, где он скоррелирован с подошвой формации Пebbл-Шейл (~130 млн лет) [37]. В большинстве случаев ниже этой сейсмической границы в разрезе глубоководного бассейна СЛО не фиксируются регулярные рефлекторы. **LCU**, таким образом, служит технологическим «акустическим фундаментом», не всегда совпадая при этом с фундаментом в геологическом понимании.

Однако оптимизация сейсмических исследований, а также их постобработки сделали возможными в некоторых частях СЛО изучить структуру пород, залегающих ниже **LCU**.

Интерпретация сейсмических данных экспедиций «Арктика-2011», «Арктика-2012» и анализ опубликованных материалов [21, 23, 24] позволяют разделить образования «акустического фундамента» на три сейсмические фации.

Сейсмофация 1, сопоставляемая с базальтовыми комплексами мелового возраста, характеризуется в сейсмической записи короткими высокоамплитудными отражающими площадками, часто осложненными дифрагированными волнами (рис. 6, 8, 9). Поверхность акустического фундамента, совпадающая в этом случае с кровлей базальтов, неровная, с резким угасанием сейсмического сигнала вниз по разрезу. Протяженные отражающие границы не фиксируются. Низкие пластовые скорости от 3,7 до 4,0 км/с свидетельствуют о присутствии в разрезе помимо собственно базальтов низкоскоростных вулканогенно-осадочных пород.

Корректность сопоставления этой сейсмофации с базальтовыми комплексами подтверждается пространственным совпадением этой сейсмофации с яркими положительными аномалиями магнитного поля (рис. 8). Кроме того, меловые базальты и гиадокластиты вскрыты двумя скважинами на северо-восточном склоне плато Т-3 в зоне распространения этой сейсмофации (рис. 6) [11].

Сейсмофация 2, коррелируемая с толщей палеозойских осадочных пород платформенного типа, определяется в центральных частях наиболее крупных возвышенностей подн. Менделеева (рис. 6 и 9). Характерные особенности волновой картины этой толщи, а именно, наличие отчетливых, протяженных внутренних рефлекторов с выдержанным моноклинальным залеганием (азимут падения ~350°, угол падения ~10–12°), значительная мощность и согласный характер толщи, а также глубокий размыв ее кровли позволяют предположить наличие в ее составе осадочных толщ чехла древней платформы. Постепенное угасание сейсмического

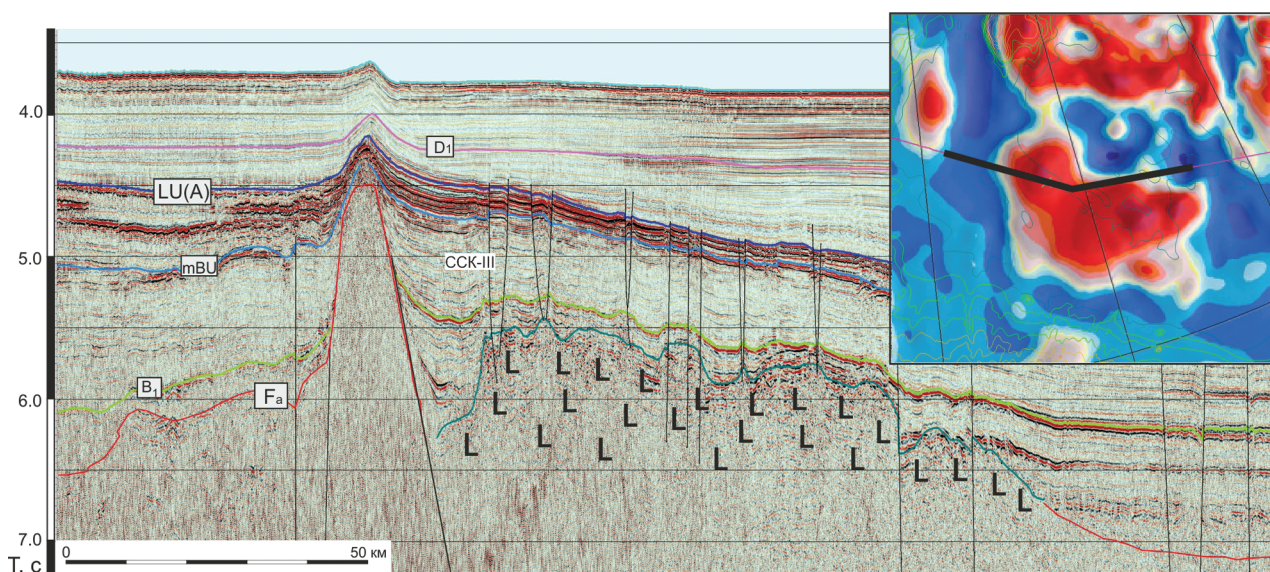


Рис. 8. Фрагмент сводного профиля МОВ-ОГТ в котл. Подводников и фрагмент карты аномального магнитного поля (на врезке). Совпадение акустических аномалий, характерных для сейсмофации 1, с положительными аномалиями магнитного поля. Положение профиля показано на рис. 1

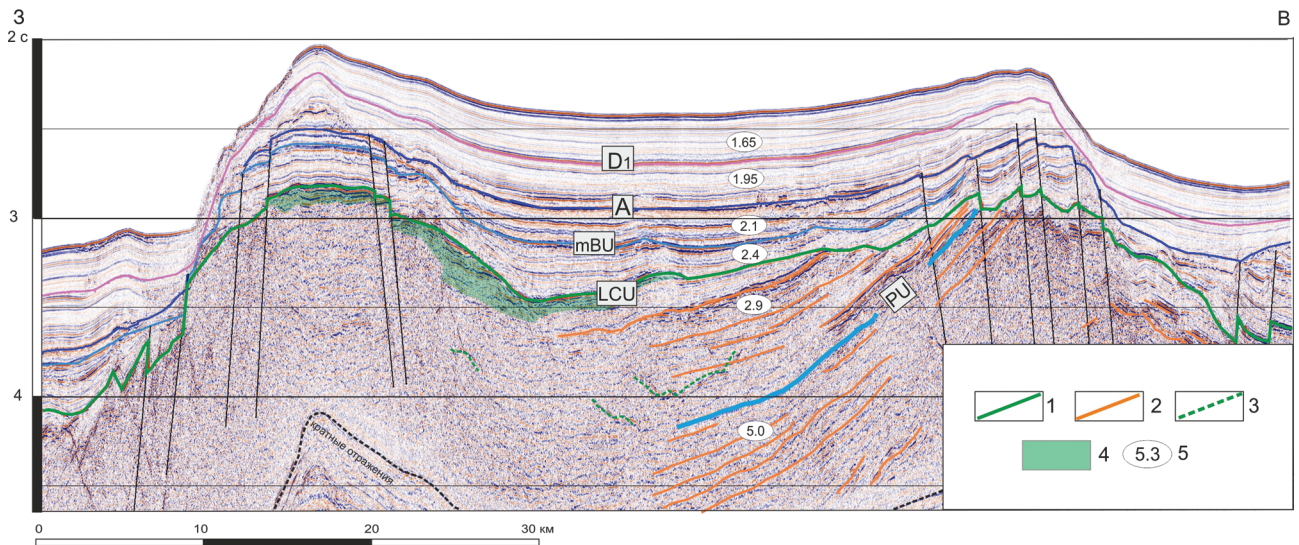


Рис. 9. Фрагмент сводного сейсмического профиля МОВ-ОГТ через центральную часть подн. Менделеева (плато Почтарева). Рисунок иллюстрирует наличие базальтовых комплексов (сейсмофация 1, слева), а также стратифицированной толщи платформенных образований (сейсмофация 2, справа) ниже ОГ LCU. На западном склоне подн. Менделеева наблюдается эрозионное несогласие по горизонту D<sub>1</sub>. Положение фрагмента профиля показано на рис. 2

1 – поверхность акустического фундамента, 2 – стратифицированная толща палеозойских платформенных образований, 3 – интрузии долеритов, 4 – меловые базальты, 5 – пластовые скорости

сигнала вниз по разрезу свидетельствует об отсутствии в ней экранирующих объектов значительной мощности, например мощных тел вулканитов. Низкие пластовые скорости в самых верхах этой толщи ( $V_{пл} = 2,9$  км/с, рис. 9) могут быть объяснены наличием здесь выветрелых и дезинтегрированных пород. Отражающий горизонт LCU в кровле толщи не всегда отчетливо идентифицируется. По сути он не является здесь акустическим фундаментом, так как регулярные отражения регистрируются и ниже него. Наиболее вероятно сопоставление этой толщи с терригенными отложениями верхнеэлсмирского и карбонатными и терригенно-карбонатными породами нижнеэлсмирского комплексов. Похожие выводы встречались и ранее [4, 6, 10].

В пользу сопоставления этой сейсмофации с платформенными образованиями говорят геологические данные экспедиции «Арктика-2012» [11]. В составе обломков, драгированных с подводных склонов подн. Менделеева, обнаружены терригенные и карбонатные породы, типичные для платформенного чехла. Среди терригенных пород преобладают зрелые кварцевые песчаники и алевролиты. А в неизмененных обломках карбонатных пород фиксируются многочисленные органические остатки девона, карбона и нижней перми.

Кроме того, анализ минеральных ассоциаций тяжелой и легкой фракций из четвертичных осадков подн. Менделеева [3] показывает, что эти отложения образованы за счет размыва близрасположенных осадочных комплексов чехла древней платформы.

Сейсмофация 3, сопоставляемая с гетерогенными породами складчатого фундамента, характеризуется наличием яркого расчлененного рефрактора в кровле, экранирующего сейсмический сигнал. В области развития этой сейсмофации отражающий горизонт LCU является поверхностью акустического фундамента. Ниже по разрезу часто фиксируются яркие неполнократные и боковые отражения. Амплитуды отражающего горизонта LCU в кровле складчатого основания значительно варьируют,

что в самых общих чертах может характеризовать степень дислоцированности пород акустического фундамента (рис. 10).

Согласно общегеологическим построениям по материковому обрамлению и архипелагам, в регионе возможно развитие складчатых комплексов докембрийской [14], каледонской [1, 7, 21] и мезозойской консолидации. Мезозойские Чукотской складчатой системы трассируются на присибирский сегмент хр. Ломоносова [13]. Кроме этого, в последние годы получены прямые геологические данные о присутствии каледонид в регионе [1]. Кварц-мусковитовые и кварц-хлоритовые сланцы, кварциты, гнейсы, граниты и метавулканисты основного и среднего состава вскрыты пробой на западном склоне отрога Геофизиков [7]. Анализ зерен цирконов из роговообманкового гнейса дал плотную группу возрастов от 399 до 453 млн лет. Породы каледонского складчатого основания вскрыты также при драгировании эскарпа западного борта басс. Нордвинд [21]. Из представительной пробы (весом 0,5 т) отобраны орто-гнейсы, метаморфизованные габбро и брекчированные метаосадочные образования. Цирконы из этих пород показали каледонский возраст. Складчатый фундамент докембрийского возраста установлен на о. Врангеля [14].

Выделение регионального сейсмического горизонта JU (Jurassic Unconformity) в котл. Подводников основано на его прямом прослеживании по сети корреляционных ходов от скважин Попкорн и Бургер на Чукотском шельфе [4]. Отражающий горизонт разделяет бофортский и верхнеэлсмирский комплексы. Волновая картина бофортского комплекса полупрозрачная со слабоамплитудными высокочастотными рефракторами. Пластовые скорости здесь варьируют от 3,6 до 4,0 км/с. Верхнеэлсмирский комплекс характеризуется наличием серии высокоамплитудных отражений. Пластовые скорости в этой части разреза изменяются от 4,0 до 4,6 км/с.

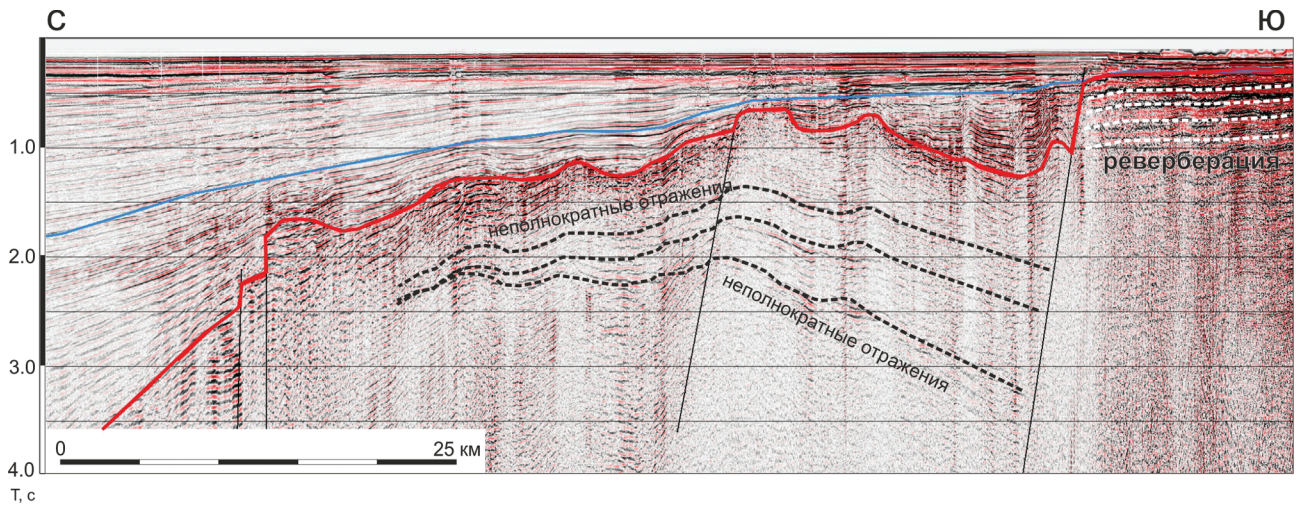


Рис. 10. Фрагмент сейсмического профиля I-6-78-818 (USGS) в Северо-Чукотском прогибе, иллюстрирующий волновую картину кровли складчатого основания (сейсмофация 3)

Сейсмический отражающий горизонт PU (Permian Unconformity) фрагментарно фиксируется в нижней части сейсмического разреза на подн. Менделеева и в котл. Подводников. Согласно американским данным, отражающий горизонт PU отделяет верхнеэлсмирский терригенный комплекс от карбонатно-терригенного нижнеэлсмирского.

Большинство исследователей [37] сопоставляют его с кровлей формации Лисберн, обладающей повышенными пластовыми скоростями (до 5,0–5,3 км/с), которая несогласно перекрывается бофортским или брукским комплексами. Выделение отражающего горизонта в описываемом районе опирается на сходство его сейсмического стиля, несогласное залегание и увеличение пластовых скоростей в подстилающих отложениях до 5,0–5,3 км/с.

**Корреляция геологических событий.** Для восстановления истории формирования седиментационных бассейнов за последние 100 млн лет вдоль линии сводного профиля построено пять палеопрофилей на различные временные срезы. Построение палеопрофилей проводилась стандартными средствами интерпретационного пакета The KingdomSuite путем выравнивания отражающих горизонтов на условную дневную палеоповерхность. Эта процедура позволяет оценить относительные колебания дна бассейнов, продолжительность этапов вертикальных движений и время формирования тектонических нарушений.

Палеопрофили построены на следующие уровни: конец раннего мела, конец позднего мела, конец палеоцена, конец эоцена и современный уровень (рис. 11). Домеловой этап развития региона из-за отсутствия достаточного объема сейсмической информации пока слабо изучен.

**Ранний мел** (рис. 11, а). Раннемеловой этап развития территории завершается формированием единого сводового поднятия, охватывающего современные структуры подн. Менделеева и Чукотского плато, что отчетливо фиксируется в восточной части профиля. Большая часть этой структуры располагалась выше уровня моря, и, судя по её геометрии, синхронные седиментационные бассейны могли располагаться к северу и северо-востоку от нее.

В пределах современной котл. Подводников на месте северной периферии Северо-Чукотского

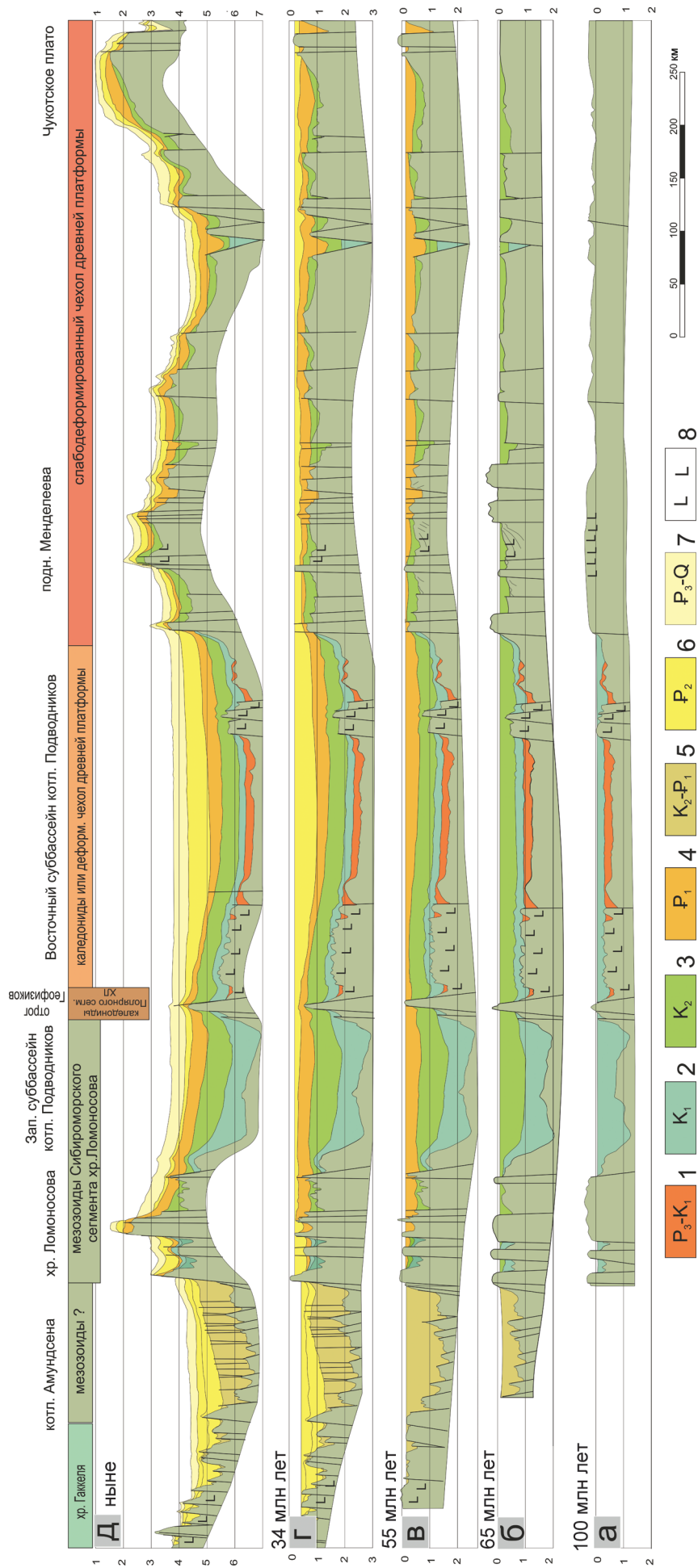
бассейна начинает формироваться эпиэлсмирский унаследованный осадочный бассейн. Его ложе достаточно ровное, и лишь в восточной его части (примерно на 170° в.д.) фиксируется локальное конседиментационное магматогенное поднятие. Судя по геометрии заполняющих комплексов, основные источники сноса находились западнее, в пределах современного хр. Ломоносова, а также южнее, на восточносибирском шельфе.

Район хр. Ломоносова к концу раннего мела представлял собой сложнопостроенную горст-грабенную структуру. Главный горст шириной более 50 км располагался в осевой части хребта примерно на 142° в.д. К западу от него сформировались два узких грабена, заполненные 500-метровой толщиной нижнемеловых осадков. Формирование основного депоцентра в это время происходило у восточного подножия хр. Ломоносова в западном суббассейне современной котл. Подводников.

Отрог Геофизиков представлял собой узкий, протяженный горст, подвергавшийся активному размытию. К востоку от него формируется еще одно магматогенное поднятие. Большая часть эродированного материала сносилась в западном направлении, слагающая базальные горизонты в разрезе смежного прогиба.

**Поздний мел** (рис. 11, б). К концу позднего мела началось формирование обширного неглубокого седиментационного бассейна в границах современного Чукотского плато и подн. Менделеева. Исключение составляли лишь локальные горсты западного склона Чукотского плато и центральной части подн. Менделеева. На этом этапе была заложена сеть разрывных нарушений, определившая блоковую структуру этой области. Мощность накопленных в течение позднего мела отложений не превышает 500–600 м. Важно заметить, что основные положительные структуры того времени на подн. Менделеева не совпадают с современным морфоструктурным планом.

В границах современной котл. Подводников продолжались прогибание и накопление осадков. Очевидно, что главные источники сноса скорее всего располагались на шельфе Восточно-Сибирского моря. Отмечается активизация тектонических движений в границах вулканокупола на 170° в.д. Отрог Гео-физиков остается положительной, активно



**Рис. 11. Палеопродольные профили, выполненные на базе сводного временного сейсмического разреза котл. Амундсена – Чукотское плато, на различных временных срезах (а – конец К<sub>1</sub>, б – конец К<sub>2</sub>, в – конец P<sub>1</sub>, г – конец P<sub>2</sub>, д – ныне)**  
 Отложения: 1 – верхнепермско-нижнемеловые, 2 – нижнемеловые, 3 – верхнемеловые, 4 – палеоценовые, 5 – верхнемеловые-палеоценовые (?) нерасчленённые, 6 – эоценовые, 7 – олигоцен-четвертичные, синоканнические; 8 – меловые базальты НАЦР

эродируемой структурой, в его границах активизируются тектонические движения. Продолжается интенсивное прогибание западного суббассейна современной котл. Подводников. Мощность отложений, накопленных в этот промежуток времени, достигает 1000–1500 м. К концу позднего мела блоковая структура хр. Ломоносова несколько усложняется. В центральной части основного горста хребта формируется грабен, компенсированный осадками.

В восточной части котл. Амундсена начал формироваться седиментационный бассейн, контролируемый на востоке склоном хр. Ломоносова, на западе выступом фундамента, совпадающим с положением 18-линейной магнитной аномалии (ЛМА) (рис. 12). Наиболее древние комплексы заполнения бассейна располагаются в средней части котловины между 22-й и 24-й ЛМА. В отличие от одновозрастных депоцентров котл. Подводников и хр. Ломоносова, волновая картина сейсмокомплекса котл. Амундсена характеризуется наличием ярких, однако непродолжительных латерально изменчивых рефлекторов. Значительная мощность этого комплекса, относительно высокие пластовые скорости и характерный наклон рефлекторов в западном направлении говорят о формировании этой толщи в ходе единого позднемелового–палеоценового тектонического цикла за счет грубообломочных образований, сносимых с хр. Ломоносова.

**Палеоцен** (рис. 11, в). Конец палеоцена ознаменовался выравниванием палеорельефа за счет компенсации основных прогибов и началом общего прогибания описываемой области. К этому времени была сформирована сеть основных тектонических нарушений, заметно усложнилась блоковая структура подн. Менделеева, Чукотского плато, хр. Ломоносова.

В это же время образуется единый осадочный бассейн с депоцентрами на восточном склоне хр. Ломоносова и в восточной части котл. Подводников, а также с серией локальных депоцентров в границах подн. Менделеева, Чукотской абиссальной котловины и Чукотского плато. Усиления тектонических движений в котл. Подводников не наблюдается.

Максимальное прогибание наблюдается в восточной части котл. Амундсена, где продолжает формироваться единый седиментационный бассейн. К концу палеоцена этот прогиб компенсируется более чем двухкилометровой толщиной верхнемеловых–палеоценовых осадков.

**Эоцен** (рис. 11, г). В эоцене продолжается неравномерное погружение региона. К концу эоцена сеть тектонических нарушений была полностью сформирована, на подавляющей части региона, за исключением нескольких участков, на западном фланге хр. Ломоносова и подн. Менделеева закончились блоковые тектонические движения. Прогибание области ЦАП приводит к формированию обширного мелководного морского бассейна, простирающегося от восточного склона хр. Ломоносова до Чукотского плато. Основной депоцентр располагался в котл. Подводников, где было аккумуляровано до 1000 м мелководно-морских отложений. Локальные депоцентры отмечаются на западном склоне хр. Ломоносова и в Чукотской котловине.

Активное прогибание до батимальных глубин продолжается в котл. Амундсена. Эоценовый глубоководный седиментационный бассейн с депоцентром

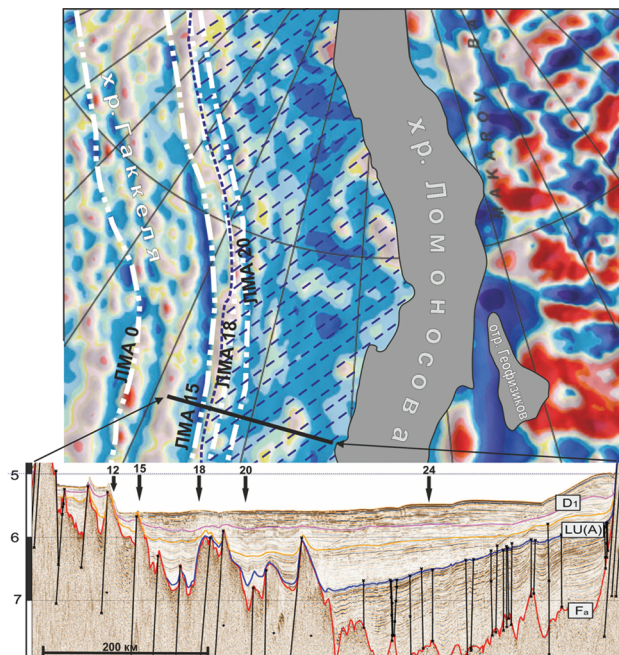


Рис. 12. Фрагменты карты аномального магнитного поля с положением линейных магнитных аномалий [17] и временного сводного разреза через котл. Амундсена. Синей штриховкой показаны границы мел-палеоценового седиментационного бассейна

в районе 20 ЛМА охватывает уже всю котловину, за исключением области рифтовых гор хр. Гаккеля. В составе эоценового седиментационного комплекса котл. Амундсена возможно появление батимальных отложений.

В **олигоцен-четвертичный** этап развития региона (рис. 11, д) формируется его современная морфоструктура на фоне общего неравномерного погружения. Активируются контрастные тектонические движения, локализованные в краевых частях поднятий. На этом этапе вершинные поверхности современных положительных морфоструктур были опущены до батимальных глубин, в то время как смежные с ними бассейны опустились местами до абиссальных глубин. В регионе начался син-океанический этап осадконакопления. Соответствующий ему седиментационный комплекс отличается выдержанной мощностью (от 200 до 500 м) и характерной для глубоководных осадков волновой картиной. Очевидно, что основные источники сноса этого этапа располагались в шельфовой зоне.

Максимальный градиент тектонических движений этого этапа приходится на западный склон подн. Менделеева (600–700 м), западный склон хр. Ломоносова (более 700 м), а также на восточный склон Чукотского плато (700–800 м). Активизация тектонических движений фиксируется также в районе рифтовых гор хр. Гаккеля. Амплитуды относительного воздымания здесь достигают 400–500 м.

**Заключение.** Исследования, выполненные по сводному профилю МОВ-ОГТ, позволяют восстановить историю формирования седиментационных бассейнов глубоководной части Арктического бассейна и отметить ряд важных особенностей их строения.

Поверхность акустического фундамента в регионе не является изохронной границей. В цен-

тральной части Евразийского бассейна, в пределах 0–18 ЛМА, она совпадает с кровлей океанического фундамента спредингового типа. В восточной части котл. Амундсена и в Сибироморском сегменте хр. Ломоносова акустический фундамент представлен позднекеммерийским складчатым основанием со слабдеформированным чехлом апт-четвертичного возраста. Полярный сегмент хр. Ломоносова и отрога Геофизиков являются структурами на каледонском складчатом основании, подн. Менделеева и Чукотское плато – структурами, заложенными на докембрийском кристаллическом фундаменте со слабдеформированным палеозойско-мезозойским чехлом. Идентификация типа фундамента котл. Подводников проблематична. Наиболее вероятными здесь могут считаться либо складчатый каледонский фундамент, либо докембрийский фундамент платформы.

Формирование MZ-KZ седиментационных бассейнов изученной части СЛО началось в конце раннего мела с разрушения гетерогенного сводового поднятия на месте современных структур хр. Ломоносова и подн. Менделеева. Импульс растяжения привел к образованию сети разрывных нарушений, определивших блоковую структуру области. Конец палеоцена ознаменовался выравниванием палеорельефа за счет компенсации основных прогибов и началом общего прогибания описываемой области.

Начало синокеанического этапа, определившего современную морфоструктуру региона, по разным оценкам относится к концу эоцена (36 млн лет назад). Неравномерное погружение региона и активизация контрастных неотектонических движений, локализованных в краевых частях поднятий, привела к обособлению поднятий области ЦАП от смежных глубоководных бассейнов. Смена мелководно-морского режима осадконакопления глубоководным в пределах изученной области СЛО была асинхронной. В эоцене батиальные осадки начали накапливаться в котл. Амундсена, а с олигоцена в бассейнах области ЦАП.

Конфигурация базальных горизонтов осадочного чехла восточной части котл. Подводников говорит о ее формировании как единого конседиментационного эпиэпсмирского прогиба.

Котл. Амундсена по структуре осадочного чехла и характеру аномального магнитного поля может быть разделена по линии 18-й ЛМА на восточную и западную части. Восточная часть – продолжение структур хр. Ломоносова – сформирована как единый субмеридиональный бассейн в результате растяжения и конседиментационного погружения континентальной коры Ломоносовского блока в палеоцене. Западная часть котл. Амундсена, видимо, структурно связана с хр. Гаккеля и заложена на океанической коре.

Авторы выражают благодарность С. П. Шокальскому за помощь в написании статьи, а также Л. А. Дараган-Суцовой за конструктивную критику работы.

1. Возраст фундамента островов Де-Лонга (архипелаг Новосибирские острова): Новые геохронологические данные / Е.А. Кораго, В.А. Верниковский, Н.Н. Соболев, А.Н. Ларионов, С.А. Сергеев, Н.М. Столбов, В.Ф. Про-

скурнин, П.С. Соболев, Д.В. Метелкин, Н.Ю. Матушкин, А.В. Травин // Докл. РАН. 2014. Т. 457. № 3. – С. 315–322.

2. Геологическая карта, масштаб 1 : 1 000 000. Лист U-53-56 – хр. Ломоносова. Серия Океанская. Объясн. записка / П.В. Рекант, Е.А. Гусев, А.А. Черных и др. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 66 с.

3. Геологическая карта, масштаб 1 : 1 000 000. Лист U-57, 58, 59, 60 – поднятие Менделеева. Серия Океанская. Объясн. записка / П.В. Рекант, Е.А. Гусев, А.А. Черных и др. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 104 с. (в печати).

4. Геология и тектоника Северо-Востока Российской Арктики (по сейсмическим данным) / Л.А. Дараган-Суцова, О.В. Петров, Н.Н. Соболев, Ю.И. Дараган-Суцев, Л.Р. Гринько, Н.А. Петровская // Геотектоника. 2015. (в печати).

5. Государственная геологическая карта Российской Федерации, масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист S-53-55 – Новосибирские острова. Объясн. записка – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1999. – 208 с.

6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серии Лаптево-Сибироморская и Океанская. Лист T-57-60 – о. Генриетты. Объясн. записка / М.Н. Пяткова, В. А. Виноградов, А.И. Трухалев, Ю.Е. Погребницкий и др. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015, 68 с. + 4 вкл.

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

8. Ким Б.И., Глезер З.И. Осадочный чехол хребта Ломоносова (стратиграфия, история формирования чехла и структуры, возрастные датировки сейсмокомплексов) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2007. Т. 15. № 4. – С. 63–83.

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

10. К обоснованию стратиграфической привязки опорных сейсмических горизонтов на Восточно-Арктическом шельфе и в области Центрально-Арктических поднятий / Л.А. Дараган-Суцова, Н.Н. Соболев, О.В. Петров, Л.Р. Гринько, Н.А. Петровская, Ю.И. Дараган-Суцев // Регион. геология и металлогения. 2014. № 58. – С. 5–21.

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

12. О геотектонической природе системы Центрально-Арктических морфоструктур и геологическое значение донных осадков в ее определении / В.Я. Кабаньков, И.А. Андреева, В.Н. Иванов, В.И. Петрова // Геотектоника. 2004. № 6. – С. 33–48.

13. Основные итоги геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 Арктического шельфа России / В.А. Виноградов, Б.Г. Лопатин, А.З. Бурский, Е.А. Гусев, А.Ф. Морозов, С.И. Шкарубо // Разведка и охрана недр. 2005. № 6. – С. 45–52.

14. Остров Врангеля: геологическое строение, минералогия, геоэкология / под ред. М.К. Косыко, В.И. Ушакова. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2003. – 137 с.

15. Палеоген-неогеновые отложения острова Бельковский (Новосибирские острова): к характеристике осадочного чехла в восточной части шельфа моря Лаптевых / А.Б. Кузьмичев, Г.Н. Александрова, А.Б. Герман, М.К. Данукалова, А.Н. Симакова // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2013. Т. 21. № 4. – С. 91–116.

16. Рекант П.В., Гусев Е.А. Сейсмогеологическая модель строения осадочного чехла прилаптевоморской части

хребта Ломоносова и прилегающих глубоководных котловин Амундсена и Подводников // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 11. — С. 1497–1512.

17. Черных А.А., Крылов А.А. Седиментогенез в котловине Амундсена в свете геофизических данных и материалов бурения на хребте Ломоносова // Докл. РАН. 2011. Т. 440. № 4. — С. 516–520.

18. Andronikov A., Mukasa S., Mayer L.A., Brumley K. First Recovery of Submarine Basalts from the Chukchi Borderland and Alpha/Mendelev Ridge, Arctic Ocean. American Geophysical Union. Fall Meeting. 2008. Abstract V41D-2124.

19. Backman J., Moran K., Evans D. and the Expedition 302 Project Team. ACEX – Arctic Coring Expedition: «Paleoceanographic and tectonic evolution of the central Arctic Ocean», Integrated Ocean Drilling Scientific Prospect. Vol. 302, Mission Specific Platform Scientific Prospectus No 1 (May 2004). 2004. — 58 p.

20. Backman J., Jakobsson M., Frank M., Sangiorgi F., Brinkhuis H., Stickley C., O'Regan M., Lovlie R., Pälike H., Spofforth D., Gattacceca J., Moran K., King J., Heil C. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic ACEX sediments from the Lomonosov Ridge. Paleoceanography. Vol. 23. — P. 1–15. 2008. doi:10.1029/2007PA001476

21. Brumley K. Geologic history of the Chukchi Borderland, Arctic Ocean. PhD. Thesis. Stanford University. 2014. — 253 p.

22. Brumley K., Miller E.L., Mayer L.A., Andronikov A., Wooden J.L., Dumitru T.A., Elliott B., Gehrels G.E., Mukasa S.B. Petrography and U-Pb detrital zircon geochronology of metasedimentary strata dredged from the Chukchi Borderland, Amerasia Basin, Arctic Ocean. American Geophysical Union, Fall Meeting. 2010. Abstract T31A-2144.

23. Bruvold V., Kristoffersen Y., Coakley B.J., Hopper J.R. Hemipelagic deposits on the Mendelev and northwestern Alpha submarine Ridges in the Arctic Ocean: Acoustic stratigraphy, depositional environment and an inter-ridge correlation calibrated by the ACEX results. Mar. Geophys. Res. 2010. Vol. 31. — P. 149–171. doi:10.1007/s11001-010-9094-9

24. Bruvold V., Kristoffersen Y., Coakley B.J., Hopper J.R., Planke S., Kandilarov A. The nature of the acoustic basement on Mendelev and northwestern Alpha ridges, Arctic Ocean. Tectonophysics. 2012. Vol. 514–517. — P. 123–145. doi:10.1016/j.tecto.2011.10.015

25. Buchan K.L., Ernst R.E. Giant dyke swarms and the reconstruction of the Canadian Arctic Islands, Greenland, Svalbard, and Franz Josef Land / E. Hanski, S. Mertanen, T. Rämö and J. Vuollo // Dyke swarms: Time markers of crustal evolution: London, Taylor & Francis/Balkema. 2006. — P. 27–48.

26. Gottlieb E.S., Miller E.L., Andronikov A., Brumley K., Mayer L.A. and Mukasa S.B. Cretaceous Arctic magmatism: Slab vs. plume? Or slab and plume? American Geophysical Union, Fall Meeting. San Francisco. Calif. 2010. Abstract T31A-2139.

27. Grantz A., Clarck 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 Bull. 1998. Vol. 110. No 6. — P. 810–820.

28. Grikurov G., Petrov O., Shokalsky S., Rekant P., Krylov A., Laiba A., Belyatsky B., Rozinov M., Sergeev S. Zircon geochronology of bottom rocks in the central Arctic Ocean: analytical results and some geological implications. Proceedings of the Six International conference on Arctic margins (APEX-VI). U.S. Department of the Interior. 2014.

29. Housekhecht D.W., Bird K.J. Geology and petroleum potential of the rifted margins of the Canada Basin // Arctic Petroleum Geology. Geol. Soc. London. Memoirs. 2011. Vol. 35. — P. 509–526.

30. Hutchinson D.R., Mosher D.C., Shimeld J., Chian D., Lebedeva-Ivanova N.N., Evangelatos J. and Jackson R. Stratigraphic and structural framework of the western edge of Canada Basin, Arctic Ocean. American Geophysical Union, Fall Meeting. San Francisco, Calif., 2012. Abstract T52B-08.

31. Jokat W., Weigel E., Kristoffersen Y. et al. New insights into the evolution of the Lomonosov Ridge and the Eurasian Basin // Geophys. J. 1995. Vol. 122. — P. 378–392.

32. Jokat W. Seismic investigations along the western sector of Alpha Ridge, Central Arctic Ocean // Geophys. J. 2003. Vol. 152. — P. 185–201. doi:10.1046/j.1365-246X.2003.01839.x

33. Jokat W. The sedimentary structure of the Lomonosov Ridge between 88N and 80N // Geophys. J. 2005. Vol. 163. — P. 698–726. doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02786.x

34. Jokat W., Icrath M., O'Connor J. Seismic transect across the Lomonosov and Mendelev Ridges: Constraints on the geological evolution of the Amerasia Basin, Arctic Ocean // Geophys. Res. Lett. 2013. Vol. 40. No 19. — P. 5047–5051.

35. Kos'ko M.K., Trufanov G.V. Middle Cretaceous to Eocene sequence on the New-Siberian islands: an approach to interpret offshore seismic // Mar. Petrol. Geol. 2002. Vol. — P. 901–919.

36. Kristoffersen Y. The Eurasia Basin: an update from a decade of geoscientific research // Polarforschung. 2000. No 68. — P. 11–18.

37. Kumar N., Granath J.W., 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. Geol. Soc. London. Memoirs. 2011. Vol. 35. — P. 501–508.

38. Mayer L.A. and Armstrong A.A. U.S. Law of the Sea cruise to map and sample the US Arctic Ocean margin. University of New Hampshire (UNH). Center for Coastal and Ocean Mapping (CCOM)/Joint Hydrographic Center. 2012. — 159 pp. Report.

39. Moran K., Backman J., Brinkhuis H., Clemens S.C., Cronin T., Dickens G.R., Eynaud F., Gattacceca J., Jakobsson M., Jordan R.W., Kaminski M., King J., Koc N., Krylov A., Martinez N., Matthiessen J., McInroy D., Moore T.C., Onodera J., O'Regan M., Pälike H., Rea B., Rio D., Sakamoto T., Smith D.C., Stein R., St. John K., Suto I., Suzuki N., Takahashi K., Watanabe M., Yamamoto M., Farrell J., Frank M., Kubik P., Jokat W., Kristoffersen Y. The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean. 2006. Nature 441. — P. 601–605. doi:10.1038/nature04800

40. Mukasa S., Andronikov A., Mayer L.A. and Brumley K. Submarine basalts from the Alpha/Mendelev Ridge and Chukchi Borderland: Geochemistry of the first intraplate lavas recovered from the Arctic Ocean // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2009. Vol. 73. No 13. Suppl. 912.

41. Poirier A., Hillaire-Marcel C. Improved Os isotope stratigraphy of the Arctic Ocean // Geophys. Res. Lett. Vol. 38. L14607. <http://dx.doi.org/10.1029/2011GL047953>

42. Poselov V.A., Avetisov G.P., Butsenko V.V., Zhondz S.M., Kaminsky V.D., Pavlov S.P. The Lomonosov Ridge as a natural extension of the Eurasian continental margin into the Arctic Basin // Russian Geology and Geophysics. 2012. Iss. 12. Vol. 53. — P. 1276–1290.

43. 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. doi:10.1016/S0040-1951(01)00108-1

44. Shimeld J., Chian D., Jackson R., Hutchinson D.R., Mosher D.M. Evidence for an important tectonostratigraphic seismic marker across Canada Basin and southern Alpha Ridge of the Arctic Ocean. American Geophysical Union, Fall Meeting. San Francisco, Calif., 2010. Abstract T31A-2127.

45. Trettin H.P. and Parrish R. Late Cretaceous bimodal magmatism, northern Ellesmere Island: Isotopic age and origin // Canadian J. of Earth Sci. 1987. Vol. 24. P. 257–265.

46. Van Wagoner N., Williamson M.-C., Robinson P., Gibson I. First samples of acoustic basement recovered from the Alpha Ridge, Arctic Ocean: New constraints for the origin of the ridge // J. Geodyn. 1986. Vol. 6. — P. 177–196. doi:10.1016/0264-3707(86)90038-4.

47. <http://walrus.wr.usgs.gov/infobank> (21.09.2012)

1. Age of the De-Longa islands basement (Novosibirskie Islands archipelago): New geochronological data. Ed. by E.A. Korago, V.A. Vernikovskiy, N.N. Sobolev, A.N. Larionov, S.A. Sergeev, N.M. Stolbov, V.F. Proskurnin, P.S. Sobolev,

D.V. Metelkin, N.Yu. Matushkin, A.V. Travin. *Doklady RAN*. 2014. Vol. 457. No 3, pp. 315–322. (In Russian).

2. Geologicheskaya karta, masshtab 1 : 1 000 000. Seriya Okeanskaya. List U-53-56 – hr. Lomonosova. Ob'yasnitelnaya zapiska. [Geological map. Scale 1 : 1,000,000. Ocean series. Sheet U-53-56 – Lomonosov Ridge. Explanatory letter] P.V. Rekant, E.A. Gusev, A.A. Chernyih, A.G. Zinchenko i dr. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2011. Pp. 66.

3. Geologicheskaya karta. Masshtab 1 : 1 000 000. Seriya Okeanskaya. List U-57, 58, 59, 60 (podnyatie Mendeleeva). Obyasnitelnaya zapiska. [Geological map. Scale 1 : 1,000,000. Ocean series. Sheet U-57, 58, 59, 60 (Mendeleev rise). Explanatory letter]. P.V. Rekant, E.A. Gusev, A.A. Chernyih i dr. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2015. 104 p. (v pechati).

4. Daragan-Suschova L.A., Petrov O.V., Sobolev N.N., Daragan-Sushev Yu.I., Grinko L.R., Petrovskaya N.A. Geology and tectonic of the NE of Russian Arctic (according recent data). *Geotektonika*. 2015. (v pechati). (In Russian).

5. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii, masshtab 1 : 1 000 000. Novaya seriya. List S-53-55 (Novosibirskie ostrova). Ob'yasnitelnaya zapiska. [Geological State map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000. New series. Sheet S-53-55 (Novosibir Islands). Explanatory letter]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 1999. 208 p.

6. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii, masshtab 1 : 1 000 000. Serii Laptevo-Sibromorskaya i Okeanskaya. List T-57-60 (o. Zhanetta). Ob'yasnitelnaya zapiska. [Geological State map of the Russian Federation, scale 1 : 1,000,000. Series Laptevo-Severomorskies and Okean. Sheet T-57-60 (Zhanetta island). Explanatory letter] Ed. by Vinogradov V.A. et al. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. (v pechati).

7. Rekant P.V., Pyatkova M.N., Nikolaev I.D., Taldenkova E.E. The rock debris from Geophysikov spur as petrotype south Lomonosov ridge basement (Arctic Ocean). *Geology and geoecology of Eurasia continental margins. Iss. 4. Geology and mineral resources of Eurasia continental shelves*. Moscow: GEOS. 2012. P. 29–40. (In Russian).

8. Kim B.I., Glezer Z.I. Lomonosov ridge sedimentary cover (Stratigraphy, geological history of sediments, structure and datings). *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 2007. Vol. 15. No 4, pp. 63–83. (In Russian).

9. Kiselev Yu.G. Glubinnaya geologiya Arkticheskogo basseyna [The deep Geology of the Arctic basin]. Moscow: Nedra. 1986. P. 224.

10. Daragan-Suschova L.A., Sobolev N.N., Petrov O.V., Grinko L.R., Petrovskaya N.A., Daragan-Sushev Yu.I. The stratigraphic justification of the key seismic units in the Eastern Arctic shelves and within Central Arctic Highs. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*. 2014. No 58, pp. 5–21. (In Russian).

11. Morozov A.F., Petrov O.V., Shokalskiy S.P., Kashubin S.N., Kremenetskiy A.A., Shkatov M.Yu., Kaminskiy V.D., Gusev E.A., Griukurov G.E., Rekant P.V., Shevchenko S.S., Sergeev S.A., Shatov V.V. New data justifying the continental origin of the Central Arctic Highs. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*. 2013. No 53, pp. 34–55. (In Russian).

12. Kabankov V.Ya., Andreeva I.A., Ivanov V.N., Petrova V.I. The tectonic of the Central Arctic Highs and the geological value bottom sediments in its definition. *Geotektonika*. 2004. No 6, pp. 33–48. (In Russian).

13. Main results of the geological mapping of the Russian Arctic shelf in the scale 1 : 1,000,000. V.A. Vinogradov, B.G. Lopatin, A.Z. Burskiy, E.A. Gusev, A.F. Morozov, S.I. Shkarubo. *Razvedka i ohrana neдр*. 2005. No 6, pp. 45–52. (In Russian).

14. Ostrov Vrangelya: geologicheskoe stroenie, minerageniya, geoekologiya. [Vrangel Island: geology, minerageny and geoecology]. Ed. by M.K. Kosko, V.V. Avdyunichov, V.G. Ganelin, A.Yu. Opekunov, M.G. Opekunova, M.P. Sesil, V.I. Ushakov, N.V. Handozhko, Dzh.K. Harrison, Yu.D. Shulga. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya. 2003. 137 p.

15. The Paleogene and Neogene deposits of the Belkovsky island (Novosibirskie islands archipelago): the characteristic

of the East Laptev sea shelf sedimentary cover. A.B. Kuzmichev, G.N. Aleksandrova, A.B. German, M.K. Danukalova, A.N. Simakova. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 2013. Vol. 21. No 4, pp. 91–116. (In Russian).

16. Rekant P.V., Gusev E.A. Seismic geologic structure model for the sedimentary cover of the Laptev Sea part of the Lomonosov Ridge and adjacent parts of the Amundsen Plain and Podvodnikov Basin. *Geologiya i geofizika*. 2012. Vol. 53. No 11. pp. 1497–1512. (In Russian).

17. Chernyih A.A., Krylov A.A. Sedimentogenesis in the Amundsen basin kotlovine Amundsen in light of the geophysical and drilling data on the Lomonosov Ridge. *Doklady RAN*. 2011. Vol. 440. No 4, pp. 516–520. (In Russian).

18. Andronikov, A., Mukasa, S., Mayer, L.A., Brumley, K. 2008: First Recovery of Submarine Basalts from the Chukchi Borderland and Alpha/Mendeleev Ridge, Arctic Ocean. *American Geophysical Union. Fall Meeting. Abstract V41D-2124*.

19. Backman, J., Moran, K., Evans, D. and the Expedition 302 Project Team. 2004: ACEX – Arctic Coring Expedition: «Paleoceanographic and tectonic evolution of the central Arctic Ocean». *Integrated Ocean Drilling Scientific Prospect, vol. 302, Mission Specific Platform Scientific Prospectus*, 1, 58.

20. Backman, J., Jakobsson, M., Frank, M., Sangiorgi, F., Brinkhuis, H., Stickley, C., O'Regan, M., Lovlie, R., Pålke, H., Spofforth, D., Gattacecca, J., Moran, K., King, J., Heil, C. 2008: Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge. *Paleoceanography*, vol. 23, 1–15. doi:10.1029/2007PA001476

21. Brumley, K. 2014: Geologic history of the Chukchi Borderland, Arctic Ocean. *PhD. Thesis. Stanford University*, 253.

22. Brumley, K., Miller, E.L., Mayer, L.A., Andronikov, A., Wooden, J.L., Dumitru, T.A., Elliott, B., Gehrels, G.E., Mukasa, S.B. 2010: Petrography and U-Pb detrital zircon geochronology of metasedimentary strata dredged from the Chukchi Borderland, Amerasia Basin, Arctic Ocean. *American Geophysical Union, Fall Meeting. Abstract T31A-2144*.

23. Bruvold, V., Kristoffersen, Y., Coakley, B.J., Hopper, J.R. 2010: Hemipelagic deposits on the Mendeleev and northwestern Alpha submarine Ridges in the Arctic Ocean: Acoustic stratigraphy, depositional environment and an inter-ridge correlation calibrated by the ACEX results. *Mar. Geophys. Res.*, vol. 31. 149–171. doi:10.1007/s11001-010-9094-9

24. Bruvold, V., Kristoffersen, Y., Coakley, B.J., Hopper, J.R., Planke, S., Kandilarov, A. 2011: The nature of the acoustic basement on Mendeleev and northwestern Alpha ridges. *Arctic Ocean. Tectonophysics*, vol. 514–517, 123–145. doi:10.1016/j.tecto.2011.10.015

25. Buchan, K.L., Ernst, R.E. 2006: Giant dyke swarms and the reconstruction of the Canadian Arctic Islands, Greenland, Svalbard, and Franz Josef Land. In E. Hanski, S. Mertanen, T. Rämö and J. Vuollo (eds.): *Dyke swarms: Time markers of crustal evolution*: London, Taylor & Francis/Balkema, 27–48.

26. Gottlieb, E.S., Miller, E.L., Andronikov, A., Brumley, K., Mayer, L.A. and Mukasa, S.B. 2010: Cretaceous Arctic magmatism: Slab vs. plume? Or slab and plume? *American Geophysical Union, Fall Meeting. San Francisco. Calif. Abstract T31A-2139*.

27. Grantz, A., Clark, D.L., Phillips, R.L. et al. 1998: Phanerozoic stratigraphy of Northwind Ridge, magnetic anomalies in the Canada basin and the geometry and timing of rifting in the Amerasia basin. *JSA Bulletin*, vol. 110, 6, 810–820.

28. Griukurov, G., Petrov, O., Shokalskiy, S., Rekant, P., Krylov, A., Laiba, A., Belyatskiy, B., Rozinov, M., Sergeev, S. 2014: Zircon geochronology of bottom rocks in the central Arctic Ocean: analytical results and some geological implications. *Proceedings of the Six International conference on Arctic margins (APEX-VI)*, U.S. Department of the Interior.

29. Housekhecht, D.W., Bird, K.J. 2011: Geology and petroleum potential of the rifted margins of the Canada Basin. *Arctic Petroleum Geology. Geological Society, London, Memoirs*, vol. 35, 509–526.

30. Hutchinson, D.R., Mosher, D.C., Shimeld, J., Chian, D., Lebedeva-Ivanova, N.N., Evangelatos, J., and Jackson, R. 2012: Stratigraphic and structural framework of the western edge of

Canada Basin, Arctic Ocean. *American Geophysical Union, Fall Meeting. San Francisco, Calif. Abstract T52B-08.*

31. *Jokat, W., Weigelt, E., Kristoffersen, Y.* et al. 1995: New insights into the evolution of the Lomonosov Ridge and the Eurasian Basin. *Geophys. J.*, vol. 122. 378–392.

32. *Jokat, W.* 2003: Seismic investigations along the western sector of Alpha Ridge, Central Arctic Ocean. *Geophys. J.*, vol. 152, 185–201. doi:10.1046/j.1365-246X.2003.01839.x

33. *Jokat, W.* 2005: The sedimentary structure of the Lomonosov Ridge between 88N and 80N. *Geophys. J.*, vol. 163, 698–726. doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02786.x

34. *Jokat, W., Icrath, M., O'Connor, J.* 2013: Seismic transect across the Lomonosov and Mendeleev Ridges: Constraints on the geological evolution of the Amerasia Basin, Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, vol. 40, 19, 5047–5051.

35. *Kos'ko, M.K., Trufanov, G.V.* 2002: Middle Cretaceous to Eocene sequence on the New-Siberian islands: an approach to interpret offshore seismic. *Mar. Petrol. Geol.*, vol. 19, 901–919.

36. *Kristoffersen, Y.* 2000: The Eurasia Basin: an update from a decade of geoscientific research. *Polarforschung*, 68, 11–18.

37. *Kumar, N., Granath, J.W., Emmet, P.A., Helwig, J.A., Dinkelman, M.G.* 2011: Stratigraphic and tectonic framework of the US Chukchi Shelf: exploration insights from a regional deep-seismic reflection survey. *Arctic Petroleum Geology. Geological Society, London, Memoirs*, vol. 35, 501–508.

38. *Mayer, L.A. and Armstrong, A.A.* 2012: U.S. Law of the Sea cruise to map and sample the US Arctic Ocean margin, University of New Hampshire (UNH), Center for Coastal and Ocean Mapping (CCOM)/Joint Hydrographic Center, 159. Report.

39. *Moran, K., Backman, J., Brinkhuis, H., Clemens, S.C., Cronin, T., Dickens, G.R., Eynaud, F., Gattacceca, J., Jakobson, M., Jordan, R.W., Kaminski, M., King, J., Koc, N., Krylov, A., Martinez, N., Matthiessen, J., McInroy, D., Moore, T.C., Onodera, J., O'Regan, M., Pälike, H., Rea, B., Rio, D.,*

*Sakamoto, T., Smith, D.C., Stein, R., St. John, K., Suto, I., Suzuki, N., Takahashi, K., Watanabe, M., Yamamoto, M., Farrell, J., Frank, M., Kubik, P., Jokat, W., Kristoffersen, Y.* 2006: The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean. *Nature* 441, 601–605. doi:10.1038/nature04800

40. *Mukasa, S., Andronikov, A., Mayer, L.A., and Brumley, K.* 2009: Submarine basalts from the Alpha /Mendeleev Ridge and Chukchi Borderland: Geochemistry of the first intraplate lavas recovered from the Arctic Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 73, 13, Suppl. 912.

41. *Poirier, A., Hillaire-Marcel, C.* 2011: Improved Os isotope stratigraphy of the Arctic Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 38, L14607. <http://dx.doi.org/10.1029/2011GL047953>

42. *Poselov, V.A., Avetisov, G.P., Butsenko, V.V., Zhondz, S.M., Kaminsky, V.D., Pavlov, S.P.* 2012: The Lomonosov Ridge as a natural extension of the Eurasian continental margin into the Arctic Basin. *Russian Geology and Geophysics*, vol. 53. 1276–1290.

43. *Sekretov, S.B.* 2001: Northwestern margin of the East Siberian Sea, Russian Arctic: Seismic stratigraphy, structure of the sedimentary cover and some remarks on the tectonic history. *Tectonophysics*, vol. 339, 353–383. doi:10.1016/S0040-1951(01)00108-1

44. *Shimeld, J., Chian, D., Jackson, R., Hutchinson, D.R., Mosher, D.M.* 2010: Evidence for an important tectonostratigraphic seismic marker across Canada Basin and southern Alpha Ridge of the Arctic Ocean. *American Geophysical Union, Fall Meeting. San Francisco, Calif. Abstract T31A-2127.*

45. *Trettin, H.P., and Parrish, R.* 1987: Late Cretaceous bimodal magmatism, northern Ellesmere Island: Isotopic age and origin. *Canadian Journal of Earth Science*, vol. 24, 257–265.

46. *Van Wagoner, N., Williamson, M.-C., 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. *J. Geodyn.*, vol. 6, 177–196. doi:10.1016/0264-3707(86)90038-4

47. <http://walrus.wr.usgs.gov/infobank> (21.09.2012)

---

*Рекант Павел Витольдович* – канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Pavel\_Rekant@vsegei.ru>

*Петров Олег Владимирович* – доктор геол.-минер. наук, доктор экон. наук, ген. директор, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>.

<OPetrov@vsegei.ru>

*Кашубин Сергей Николаевич* – доктор геол.-минер. наук, директор ЦГГФ, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Sergey\_Kashubin@vsegei.ru>

*Рыбалка Александр Викторович* – вед. геофизик, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Alexander\_Rybalka@vsegei.ru>

*Винокуров Илья Юрьевич* – канд. геол.-минер. наук, гл. геолог, ОАО «Севморгео». ул. Розенштейна, д. 36, г. Санкт-Петербург, 198095, Россия. <i.vinokurov@sevmorgeo.com>

*Гусев Евгений Анатольевич* – канд. геол.-минер. наук, зав. отделом, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. акад. И. С. Грамберга (ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга). Английский пр., д. 1, Санкт-Петербург, 190121, Россия. <gus-evgeny@yandex.ru>

*Rekant Pavel Vitol'dovitch* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI<sup>1</sup>. <Pavel\_Rekant@vsegei.ru>

*Petrov Oleg Vladimirovich* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Director General, VSEGEI<sup>1</sup>. <OPetrov@vsegei.ru>

*Kashubin Sergey Nikolaevich* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Director CGGF center, VSEGEI<sup>1</sup>. <Sergey\_Kashubin@vsegei.ru>

*Rybalka Alexander Viktirovich* – Leading Geophysicist, VSEGEI<sup>1</sup>. <Alexander\_Rybalka@vsegei.ru>

*Vinokurov Iliya Yurievich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Geologist, Sevmorgeo, 36, Rozenshteina, St. Petersburg, 198095, Russia. <i.vinokurov@sevmorgeo.com>

*Gusev Evgeny Anatolievich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department, All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after Igor Gramberg (VNIIOkeangeologia named after I. S. Gramberg), 1 Angliyskiy avenue, St. Petersburg, 190121, Russia. <gus-evgeny@yandex.ru>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74, Sredny prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.