

УДК 551.24(268+98)

## ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

© 2009 г. С. Ю. Соколов

Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7

Поступила в редакцию 16.01.2008 г.

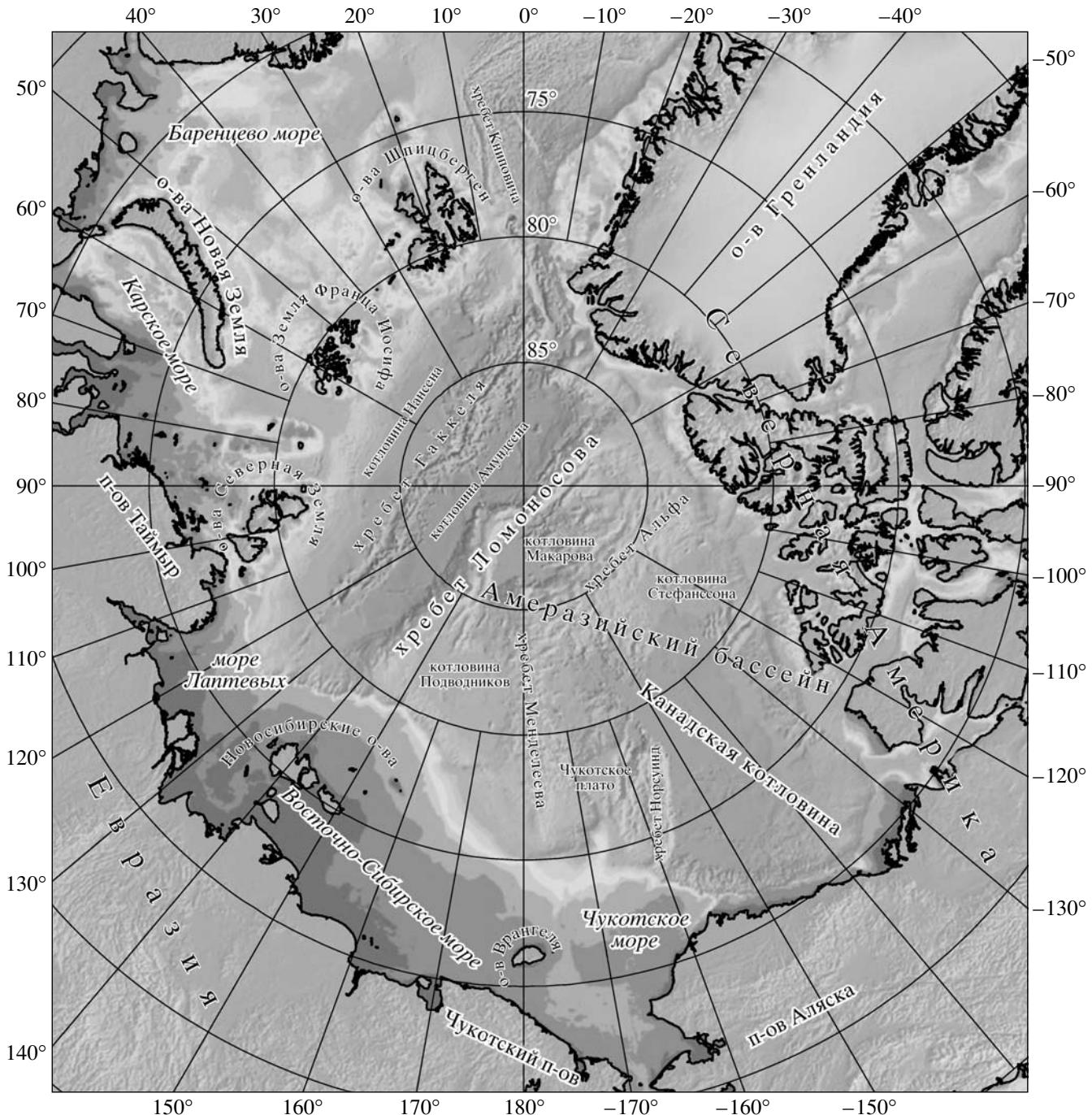
Анализ данных спутниковой альтиметрии, аномалий Буге, аномального магнитного поля, рельефа дна и томографии по поверхностным волнам Лява для глубоководной части Арктического бассейна и Восточно-Сибирского моря позволил выявить ряд новых тектонических элементов региона и сформулировать следующее. Зона бассейна шириной около 700 км и длиной около 1800 км от моря Лаптевых до Чукотского плато является правосдвиговым разрывом с характерными структурами парагенеза сдвиговых зон. В ее пределах происходит деструкция Евразийского обрамления Амеразийского бассейна. Особенностью раскрытия Амеразийского бассейна является высокопродуктивный пломбовый магматизм, наложенный на нормальные низкоскоростные спрединговые процессы в нескольких местах оси палеоспрединга. Мagma подводилась по трем каналам с мелкими ответвлениями, деятельность которых частично или полностью затухла к концу формирования бассейна. Главным подводящим каналом был центральный, сформировавший структуру хребта Альфа. Правосдвиговая трансформная система, смещающая хребет Гаккеля, смещает также структуры фундамента в котловине Макарова и, скорее всего, достигает северного окончания Чукотского плато.

### ВВЕДЕНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ, ДАННЫЕ И ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ

Вопросы тектоники Арктики (рис. 1) исследуются в огромном количестве зарубежных и отечественных публикаций. В введении к настоящей статье отметим работы, где проведено обобщение результатов, отображенное в монографиях, приводящих наиболее полные обзорные данные. Значимыми работами, обобщающими геолого-геофизические материалы на акваторию и континентальное обрамление, являются 50-ый том многотомного издания геологии Северной Америки [33], монографии ВНИИОкеангеологии [16] и монография о геодинамике сейсмоактивных зон [1], а также [28]. В общих чертах история тектонического развития региона как поэтапное раскрытие сначала Амеразийского бассейна (от ~157 до ~120 млн. лет), а затем Евразийского бассейна (от 56 млн. лет до настоящего времени) с осью спрединга, перпендикулярной оси палеоспрединга Амеразийского бассейна, поддерживается большинством авторов. Но существуют вопросы, которые научное сообщество продолжает считать дискуссионными, например, природа хребта Альфа и механизм его формирования, азимут акреции литосферы бассейна и т.д. Совокупный анализ новых данных и многих мелкомасштабных геофизических полей дает новые результаты, важные для понимания тектонической истории региона.

Тектоническое картирование океанических акваторий и прилегающих шельфовых зон проводит-

ся в основном по геофизическим данным. Степень покрытия акваторий детальной сейсморазведкой и бурением (особенно в Арктике) совершенно не сравнима с аналогичными показателями на суше. Поэтому формирование единого образа тектонического строения Северного Ледовитого океана опирается на мелкомасштабные геофизические поля. Особо отметим важность фактора однородности покрытия территории информацией. Только при его наличии сравнительное описание различных регионов становится достоверным. Плотность данных может быть меньшая или большая, но желательно однородная. К таким покрытиям можно отнести: глобальную сейсмическую томографию, аномальное магнитное поле, рельеф дна, спутниковую альтиметрию, скомбинированную с судовыми измерениями и пересчитанную в аномалии силы тяжести в свободном воздухе, а также аномалии Буге. Тектоническую и геодинамическую интерпретацию комбинации этих параметров можно найти в [31]. Изучение конфигурации этих полей, соотношения зон и блоков со сходным рисунком поля, а также совместный анализ полей разной природы, формируют подход к построению мелкомасштабной (около 1 : 30000000) тектонической схемы Арктической акватории. Особо отметим, что большинство использованных в работе геофизических покрытий (кроме поверхностных волн Лява) обладают детальностью масштаба около 1 : 3000000, и анализ их особенностей проводился при данном увеличении, которое по техническим причинам не может быть воспроизведено в публикации. Эти покрытия

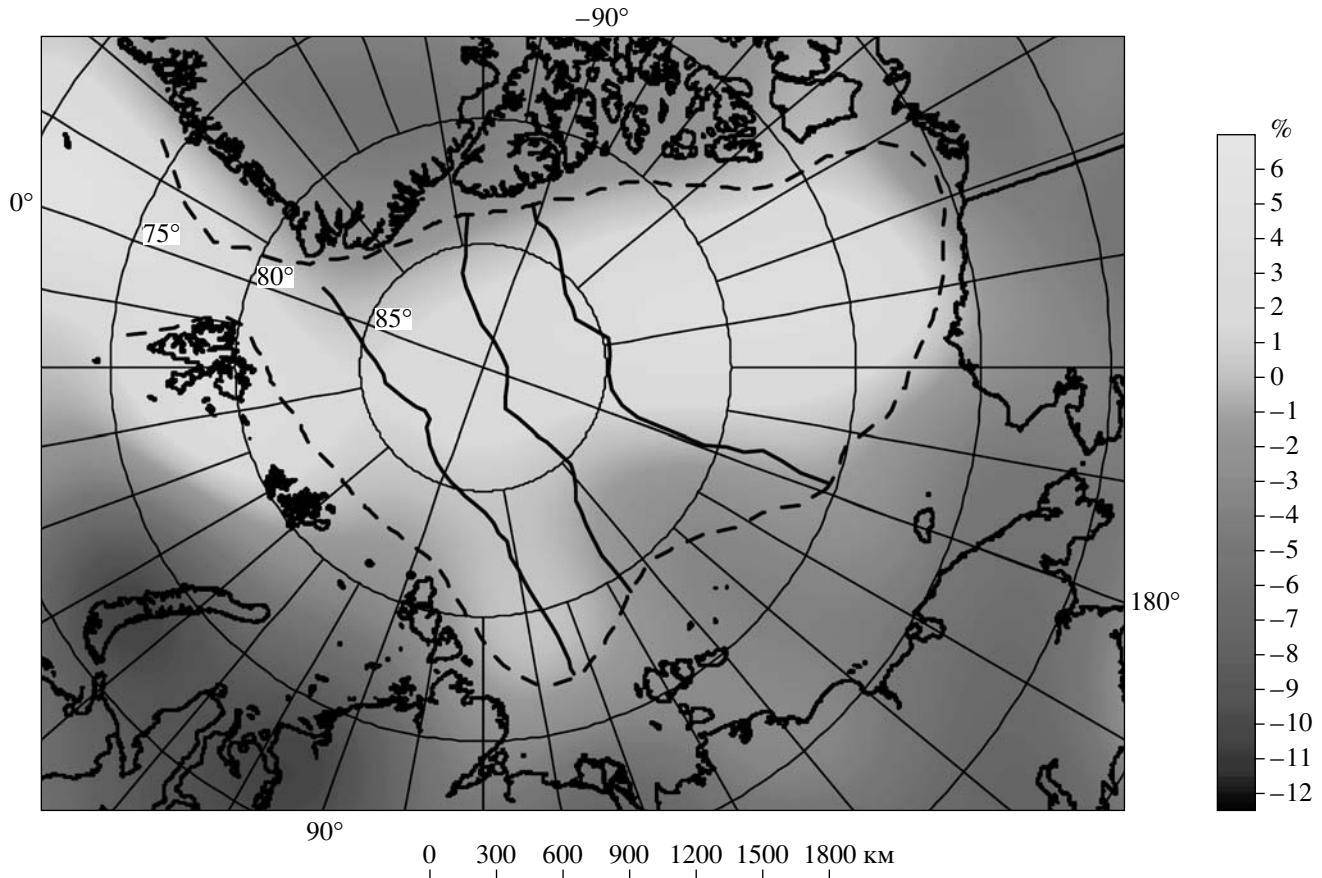


**Рис. 1.** Названия основных географических объектов Арктики (схема топонимики дна и окружающей суши).

находятся в открытом доступе в цифровых форматах, совместимых с геоинформационной средой, и могут быть использованы научным сообществом для самостоятельной работы.

Традиционно в тектоническом картировании океанов отдавалось предпочтение рельефу дна, что было связано с опережающими темпами увеличения батиметрической изученности по сравнению с

другими геофизическими полями. Именно рельеф лег в основу океанической части тектонической карты Мира масштаба 1 : 45000000 [18], где тектонический образ создан для всей поверхности Земли. Отметим что данная карта является адаптацией аналогичной карты 1 : 15000000 масштаба, но при этом ее насыщенность выделенными элементами тектоники в океанических областях практически осталась неизмененной. На тектонической карте океанов вы-



**Рис. 2.** Томография по поверхностным волнам Лява (период гармоники 35 с) по данным [27], положение осей хребтов Гаккеля, Ломоносова и Менделеева и бровка шельфа (пунктирная линия). Координатная сетка на этом и других рисунках по долготе имеет 10-тиградусный шаг для секторов южнее 80-ой широты, севернее –30-ти и 90-тоградусный шаг. Широты проведены через 5 градусов. Проекция полярная стереографическая на сфере 6370997 м, центральный меридиан – 110° в.д., широта – 90° с.ш.

деляются следующие структурные элементы: срединные хребты, осевые зоны (фланги хребтов), глубоководные котловины, приразломные впадины, зоны обнажения пород 2-го и 3-го океанических слоев и гипербазитов, внутриплитные поднятия, трансформные разломы и другие нарушения разных кинематических типов, переходные зоны, континентальные микроплиты и шельфовые области. Данный набор не будет подвержен существенному изменению. Как правило, эти тектонические элементы имеют свою специфическую выраженность в рельефе, но использование большего разнообразия геофизических параметров позволяет существенно уточнить конфигурацию вышеупомянутых элементов, по-новому взглянуть на их природу и провести их выделение там, где для этого одного рельефа не достаточно.

#### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТОМОГРАФИИ ПО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОЛНАМ

Арктический бассейн разделяется на области с корой континентального и океанического типов.

Как правило, в океанах с пассивным типом окраин данная граница проводится условно по бровке шельфа. Этот принцип имеет исключения в тех случаях, когда геофизические данные позволяют говорить об “отторженце” с корой континентального типа (например, плато Роккол в северной Атлантике), расположенным за пределами шельфа. Анализ данных томографии по поверхностным волнам Лява [27] показывает значимую корреляцию отрицательных значений этой аномалии с корой континентального типа и положительных – с океанической корой (рис. 2).

Сравнение положения нулевого значения этой аномалии с формой бровки шельфа показывает как принципиальное совпадение, так и наличие двух интересных исключений из общего правила. Первое состоит в значительном (порядка 450 км) выдвижении “континентального” значения аномалии в океаническую часть акватории в районе от хребта Ломоносова до Менделеева. Поскольку горизонтальная точность данного покрытия составляет 200 км,

эта конфигурация аномалии не может точно указать, до каких пределов простирается блок с корой континентального типа, но с очевидностью показывает наличие в этом районе континентальных фрагментов. Второе исключение состоит в наличии “океанического” значения аномалии под архипелагом Шпицберген и западной части Земли Франца-Иосифа (см. рис. 2). Известны следующие интенсивные процессы в данном районе – положительные вертикальные и горизонтальные движения, четвертичный вулканизм, формирование субмеридиональных магнитных аномалий, повышенный тепловой поток, которые, по всей видимости, говорят о новом тектоническом этапе развития этой части окраины Евразии. Вопрос об этой ситуации в работе обсуждаться не будет.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АНОМАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аномальное магнитное поле, показанное на рис. 3 по данным [35] несет исключительно важную информацию для выделения тектонических элементов. Интерпретация данных аномального магнитного поля представлена в работах [21, 32, 36]. Единодушное мнение исследователей сводилось к тому, что, несмотря на спрединговый механизм формирования акватории, все внутрибассейновые поднятия, включая хребет Альфа и Ломоносова, имеют континентальную природу. Это подтверждалось эффективной мощностью намагниченного слоя (30 км) по интерпретации данных MAGSAT и отдельными данными глубинного сейсмического зондирования. Кроме того, было сделано предположение, по которому между современными хребтами Альфа и Ломоносова существовал центр спрединга, предшествовавший началу раскрытия Евразийской котловины с 24-ой аномалии (56 млн. лет). Также было предположено, что Чукотское плато приобрело положение относительно Северо-Американской плиты в результате локального спрединга с осью, параллельной восточному краю плато, в период от 157 до 141 млн. лет, после чего ось палеоспрединга изменила ориентацию на медианное положение в Канадской котловине. Эта же гипотеза детально анализируется в работе [5]. Отметим, что наиболее полная и качественная картина магнитного поля на район Амеразийского бассейна на момент публикаций 1990 года была составлена по системе профилей, перпендикулярных хребтам Ломоносова и

Альфа, что, видимо, в большой степени определило появление гипотезы о промежуточном центре спрединга между этими морфоструктурами.

Более поздним и более качественным обобщением данных аномального магнитного поля являются работы [2, 3], где учтены данные новейших аэромагнитных съемок. По этим данным природа Евразийского бассейна представляется наименее дискуссионной. В работах приведен подробный обзор существующих гипотез о происхождении Центральных арктических поднятий Амеразийского бассейна и сделан вывод, что наиболее вероятной интерпретацией является их принадлежность к “континентальной литосфере, где активно проявился мантийный плон” [2, с. 145]. Обзор гипотез о происхождении хребтов Альфа-Менделеева может быть найден в [13]. В более поздней работе [6] развиваются гипотезы о наличии между хребтами Ломоносова и Альфа отдельного центра спрединга с тройным сочленением со спрединговой зоной Канадской котловины, функционировавшей от 157 до 140 млн. лет. В работе [28] – от 157 до 120 млн. лет.

Причина, по которой в Амеразийском бассейне временные рамки раскрытия позиционируются в упомянутых пределах, понятна. В период от ~120 до 85 млн. лет наблюдается практически полное отсутствие смен полярности магнитного поля Земли, а, стало быть, отсутствуют стандартные линейные аномалии, являющиеся маркерами для восстановления истории аккреции коры в спрединговых зонах. Авторы реконструкций пытаются уложить все до этого временного интервала. При этом получается [28], что реализации такой схемы нуждается в том, чтобы сегмент бассейна, прилегающий к Северной Америке, шириной около 1100 км в период от 132 до 129 млн. лет раскрывался со скоростью 36 см/год (половинная 18 см/год). Нигде больше в Арктике аналогичные значения не прогнозируются, и подобный всплеск скорости в короткое время в приполярном районе кажется весьма маловероятным. По другим схемам раскрытия с тройным сочленением [6] расчет общей скорости дает значения около 8.4 см/год (половинная 4.2 см/год), что более реалистично, но эта схема требует направления аккреции, перпендикулярного хребту Ломоносова. Это противоречит тектоническому строению обрамления бассейна, которое вписывается в “ротационную гипотезу” [19], по которой раскрытие бассейна в позднеюрское-раннемеловое время шло в направле-

**Рис. 3.** Аномальное магнитное поле по данным [35], положение осей хребтов Гаккеля, Ломоносова и Менделеева и бровка шельфа (пунктирная линия). Черным цветом показаны области с отсутствием данных в использованном цифровом покрытии.

**Рис. 4.** Рельеф дна по данным [25], положение осей хребтов Гаккеля, Ломоносова, Менделеева, бровка шельфа (пунктирная линия) и ось палеоспрединга (редкая пунктирная линия).

Цветная вклейка к ст. Соколова С.Ю.

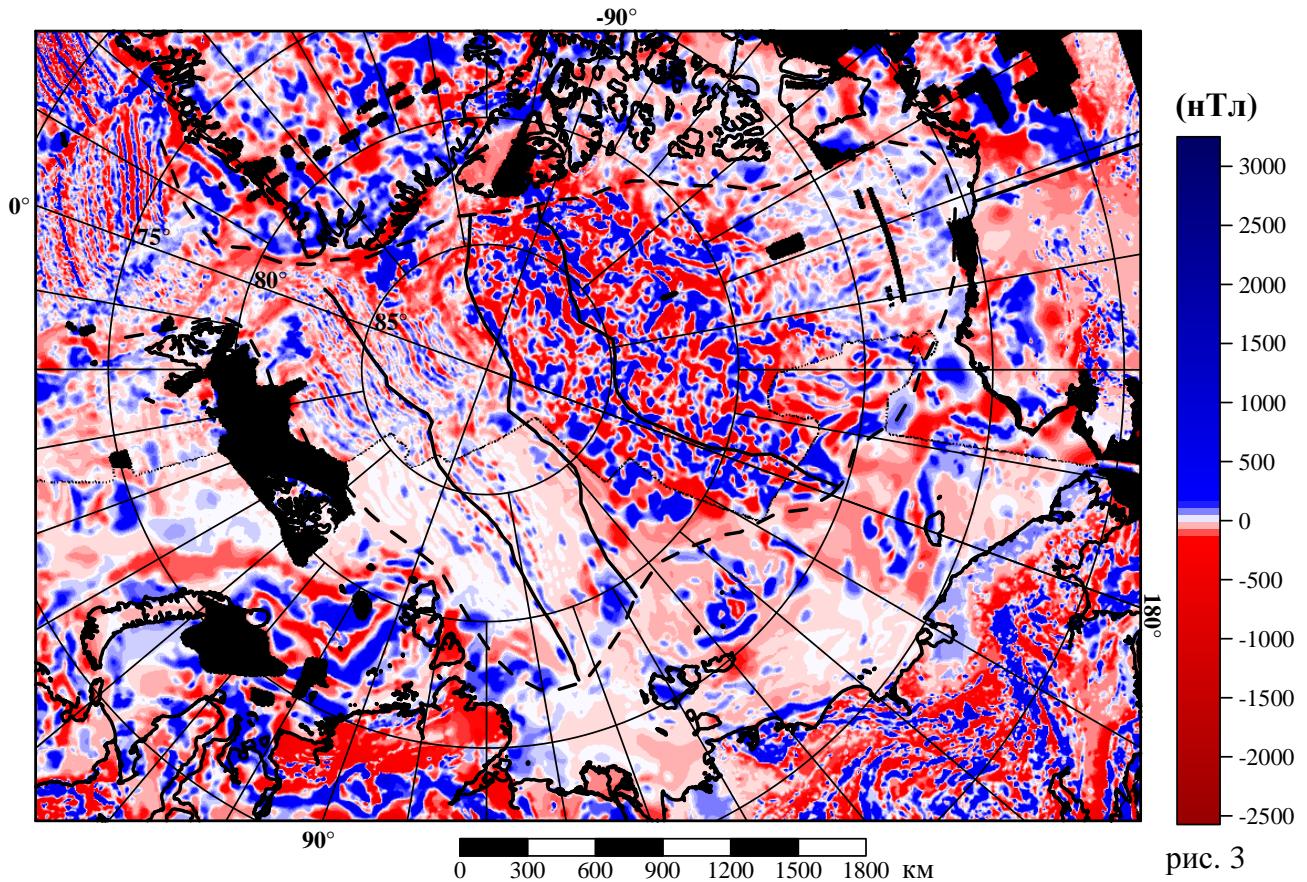


рис. 3

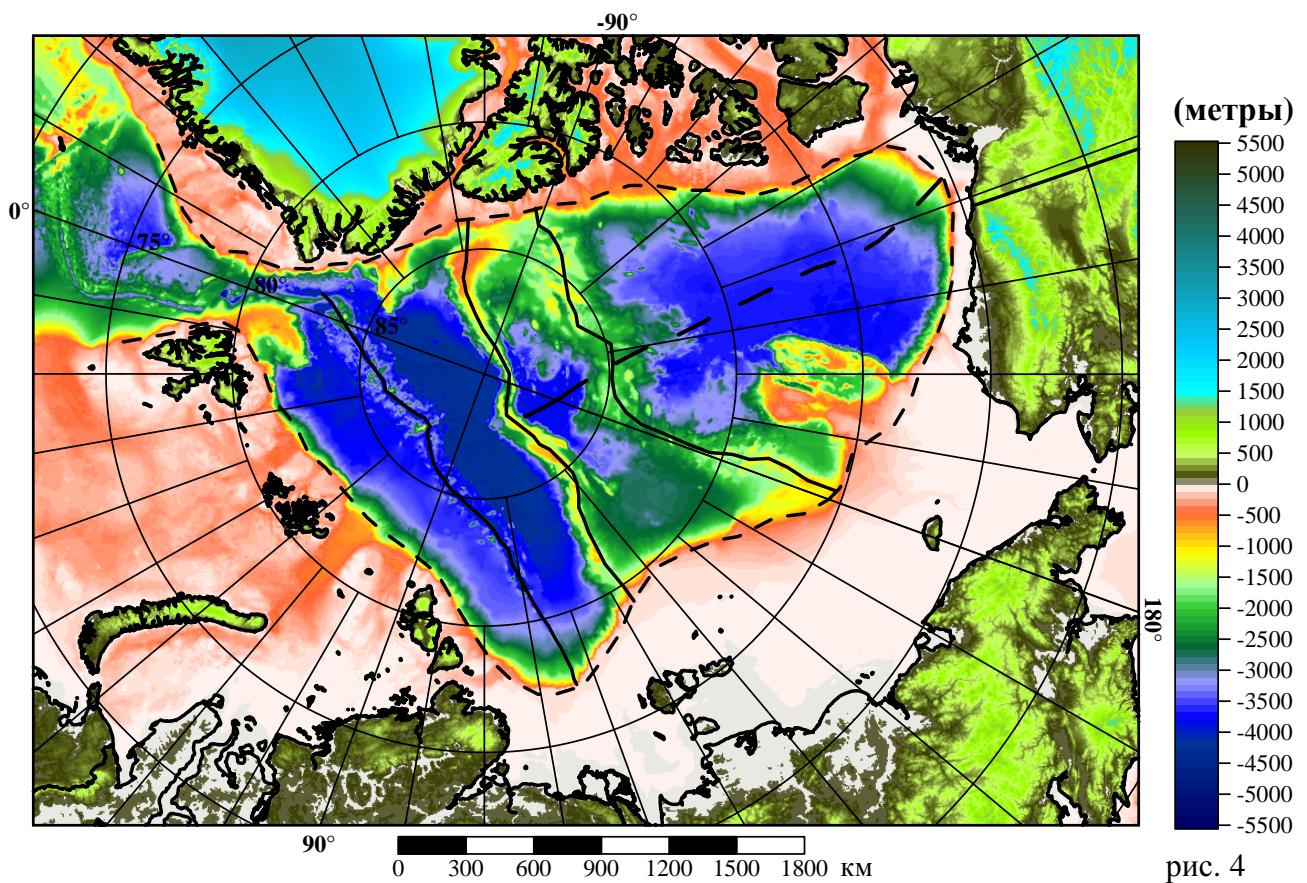


рис. 4

Цветная вклейка к ст. Соколова С.Ю.

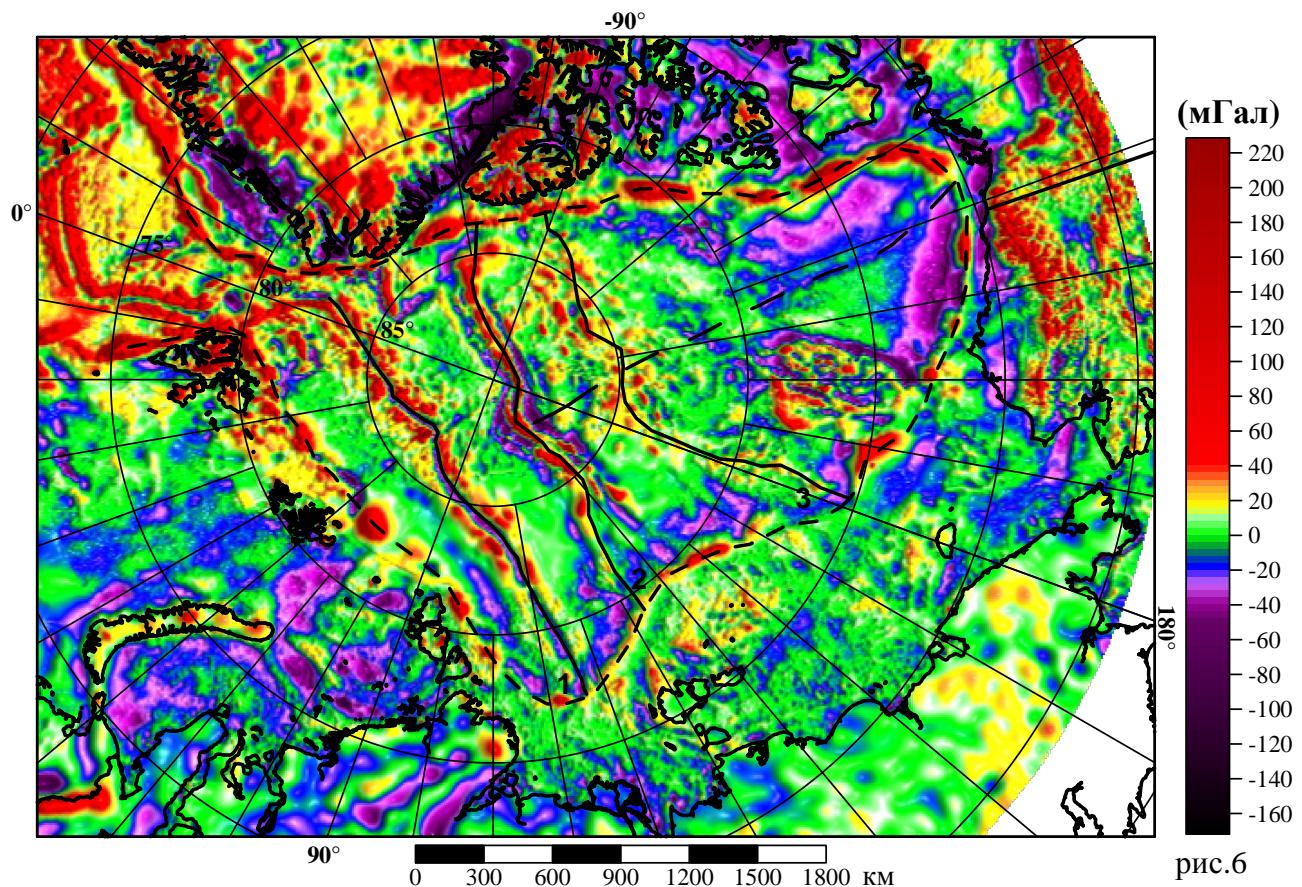


рис.6

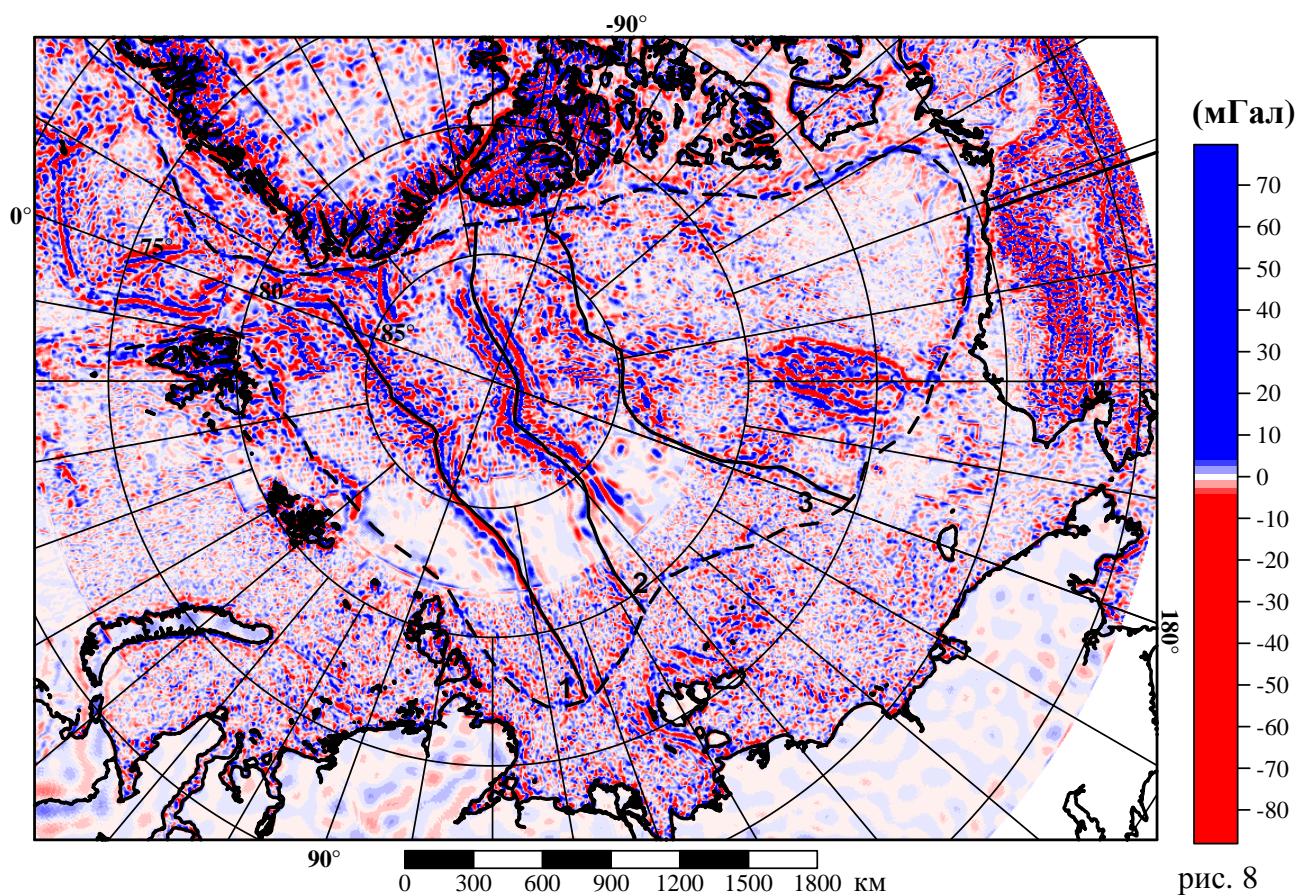


рис. 8

ния вращения против часовой стрелки структур обрамления северо-восточной Евразии и Аляски относительно центра в северо-западной части Канадского щита.

Выделение линейных аномалий-маркеров в Амеразийском бассейне сталкивается с трудностями. Проверенным способом выделения слабых трендов на картах является использование техники подсветки отображаемого поля (*shading*). Подсветка аномального магнитного поля Арктики со  $125^\circ$  з.д [3] позволяет разглядеть в этом поле линейные объекты, соответствующие интерпретации [6]. Проведенный автором анализ подсветок аномального магнитного поля с других азимутов показывает, что интенсивное мозаичное поле (см. рис. 3) при любой подсветке порождает псевдолинейные объекты, перпендикулярные направлению на источник света. Кроме того, картографическое изображение оказывается очень чувствительным к малым вариациям поля, являющимся ошибками, артефактами стыковки сегментов карты с разными данными или следом системы наблюдений. В связи с этим автор данной работы решил отказаться от использования карт с подсветкой. Визуальный анализ интенсивного мозаичного поля в районе Исландии показывает, что наличие высокопродуктивного магматизма под зоной спрединга формирует на новообразованной коре псевдолинейные структуры, которые перпендикулярны реальной оси спрединга, и если положение последней неизвестно, то легко ошибиться в определении азимута акреции на  $90^\circ$ .

Строение и развитее Евразийской котловины, по данным аномального магнитного поля, представляется наименее дискуссионным [13]. В ней выделяется система линейных аномалий, имеющих типичный для океанических спрединговых зон рисунок, нарушающий в области  $63^\circ$  меридиана правым трансформным смещением. Наличие этого смещения длиной около 25 км подтверждается многоголовой батиметрической подледной съемкой, выполненной на хребте Гаккеля в рамках проекта SCICEX [30]. Кроме того, в этом районе хребет в целом имеет изгиб, повторяющий формы евразийской окраины и хребта Ломоносова. В западной части бассейна выделяются псевдосимметричные (обладающие сходным, но не идеально симметричным рисунком) относительно хребта Гаккеля парные аномалии, занимающие большую площадь, на которой линейные аномалии не прослеживаются. Данным аномалиям

соответствуют плато Ермак и Морис Джессоп. Сходные псевдосимметричные образования наблюдаются, по аномальному магнитному полю и в восточной части котловины, но ввиду наличия осадочного чехла и невыраженности этой пары аномалий в рельфе остается предположить наличие источников аномального магнитного поля в пределах акустического фундамента без образования его поднятий или выступов.

Амеразийский бассейн обладает другим рисунком аномального магнитного поля. Здесь отсутствуют четкие системы линейных аномалий, параллельных оси спрединга. Ось палеоспрединга в явном виде в Канадской котловине определяется только по гравитационным данным (см. далее). Аномальное магнитное поле представляет собой контрастную мозаику [3], более сходную с рисунком континентального поля [2], чем с типичным спрединговым полем. Анализ аномального магнитного поля в районе Исландии, как говорилось выше, показывает сходную картину (только на меньшей площади) и представляет собой интерференцию относительно слабой спрединговой компоненты с обширными и интенсивными мозаичными аномалиями, связанными с излиянием базальтовой магмы на больших площадях, а не вдоль одиночного трещинного источника поступления расплава. Тем не менее, в районе Исландии линейные аномалии выделены весьма надежно, поскольку формирование базальтовой коры происходило в сравнительно молодую эпоху с четкими сменами полярности поля. Раскрытие Амеразийского бассейна, как предполагается, например в [2], проходило в условиях наличия мантийного плюма, который сформировал продукты базальтового магматизма на большой площади с мозаичным характером аномального магнитного поля. Отметим, что отсутствие линейных аномалий может объясняться тем, что реальная акреция океанической коры могла происходить и в более молодое (менее 120 млн. лет) меловое время и со скоростью, близкой к 2.6 см/год, которая, по данным [2], имела место в Канадской котловине. Поскольку сходство мозаичного аномального магнитного поля центральных хребтов с полем траппового континентального магматизма [2] обусловлено не столько континентальностью коры, в пределах которой происходили излияния, сколько наличием обширного плюмового источника расплава в мантии, наиболее логичным объяснением происхождения данной области было бы ее “прохождение над горя-

**Рис. 6.** Гравитационные аномалии в свободном воздухе по данным [22], положение осей хребтов Гаккеля (1), Ломоносова (2) и Менделеева (3), бровка шельфа (пунктирная линия) и ось палеоспрединга (редкая пунктирная линия).

**Рис. 8.** Высокочастотная часть гравитационных аномалий в свободном воздухе по данным [22], положение осей хребтов Гаккеля (1), Ломоносова (2) и Менделеева (3) и бровка шельфа (пунктирная линия).

чей точкой при раскрытии Канадского бассейна в юрско-меловое время” [13, с. 50; 34].

Еще одной особенностью аномального магнитного поля является наличие зоны спокойного поля на шельфе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (см. рис. 3). Исключение составляют зоны массива Де-Лонга и острова Врангеля. Причем эта зона “внедряется” на север между хребтами Ломоносова и Менделеева почти на такое же расстояние, на которое внедряется аномалия по томографии поверхностных волн (см. рис. 2). Такое совпадение вряд ли является случайностью. Часть хребта Ломоносова, примыкающая к Евразии, представлена именно низкоамплитудным неконтрастным аномальным магнитным полем, аналогичным полю упомянутых шельфов. Аномальное магнитное поле Чукотского плато также является мозаичным, но оно более сходно с полем массива Де-Лонга, чем с полем Амеразийской котловины. Такова в общих чертах делимитация аномального магнитного поля в пределах Арктического бассейна.

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РЕЛЬЕФА ДНА

Рельеф дна показан по данным [25] на рис. 4. Порядочный анализ геоморфологии рельефа Арктики приведен в [12]. Анализ неоднородностей рельефа глубоководных котловин показывает, что пространство между хребтами Ломоносова и Менделеева содержит множество объектов, составляющих псевдосимметричные пары поднятий рельефа или акустического фундамента (см. рис. 5). Сходные образования известны во всех океанах, и везде они представляют собой результат наложения глубинного пломового магматизма, формирующего обогащенные базальты TOP1 (E-MORB), на ось спрединга, где как фоновый имеет место спрединговый магматизм TOP2 (N-MORB), принципиально отличающиеся химическим составом базальтов [7]. В случаях смещения оси спрединга относительно глубинного пломового источника происходят нарушения симметрии (например пара возвышенность Риу-Гранди и Китовый хребет). При этом если средняя глубина абиссали составляет от 4100 до 3800 м, то поднятия, образованные высокопродуктивным магматизмом, начинают оконтуриваться с изобат 3600–3300 м. Эта закономерность прослеживается во всех океанах при анализе форм рельефа, образованных взаимодействием стандартной океанической литосферы с горячими точками, и не содержит предмета для дискуссии. Также отмечено [10], что эти поднятия (например, Исландия) имеют толщину коры, сравнимую с континентальной – до 30 км, и в сквозном разрезе могут присутствовать значения 6.0–6.2 км/с, характерные для “гранитного слоя”. Поэтому совокупность этих признаков, на наш взгляд, не

дает возможности однозначно утверждать континентальный тип коры в регионе, как это сделано в работе [14].

В Арктике как в Евразийском бассейне (см. рис. 4), так и в Амеразийском наблюдается несколько симметричных пар (см. рис. 5), которые выделяются как по рельефу, так и по гравитационному полю (см. далее). Их контуры четко обрисованы изобатами 3300 и 2500 м (см. рис. 5), а конфигурация позволяет сделать определение положения оси палеоспрединга, как линии симметрии между ними, проведенной по медианному принципу (см. рис. 4, 5) из Канадской котловины до хребта Ломоносова. Положение этой оси в Канадской котловине определяется по четкому линейному минимуму в гравитационном поле, маркирующему след последнего формирования базальтов. Данная интерпретация исключает наличие палеоспрединга в котловине Макарова вдоль оси, параллельной хребтам Ломоносова и Альфа-Менделеева, и подтверждает природу центральных поднятий как следа горячей точки на океанической абиссали [13, 34], которая в Арктике имеет глубину около 3650 м. Природа поднятий как первого “отторженца” от Евразии (вторым считается хребет Ломоносова [19]), скорее всего, неверна. По данным [12], природой хребта Альфа-Менделеева являются “континентальные выступы оседания”, причем данный вывод сделан не по рельефу, а по рисунку аномального магнитного поля. На наш взгляд, рисунок аномального магнитного поля, сходный с рисунком в местах обширного магматизма горячих точек, в сочетании с другими параметрами показывает океаническую природу большей части упомянутых поднятий, а неоднородности рельефа закрепляют этот вывод.

В работе [8] приводится радиологический возраст базальтового образца из каменного материала станции PS511040-1 (SL) ( $85^{\circ}30.64' \text{ с.ш.}, 174^{\circ}10.20' \text{ з.д.}$ ), описанного в полевом отчете арктической экспедиции Института Альфреда Вегенера (Германия) 1998 года, равный 83 млн. лет. В отчете данный образец охарактеризован как “дающий наиболее многообещающие возможности определения возраста хребта Альфа, который в настоящее время выводится из плитотектонических реконструкций” (пер. с англ. Соколов С.Ю.). Если учесть, что положение образца удалено от оси палеоспрединга на 95 км, то при скорости в 4.2 см/год приведенный возраст необходимо уменьшить еще на 2.3 млн. лет для получения времени окончания раскрытия Амеразийской котловины и формирования структур хребта Альфа – около 80 млн. лет. Таким образом, общие временные рамки формирования котловины могут быть определены от 157 до 80 млн. лет, что должно означать образование океанической области шириной около 1350 км со скоростью 1.75 см/год (поло-

винная 0.88 см/год). Эта цифра кажется наиболее реалистичной с учетом ультрамедленных скоростей спрединга, реализующихся в полярной области. Тем не менее, вывод, основанный на одном образце, не может считаться надежным.

Проведенная ось палеоспрединга (см. рис. 4) разделяет глубоководную котловину на части с неравной площадью. Часть Канадской котловины между осью палеоспрединга и Евразией шире на 200–300 км, чем часть, примыкающая к Северной Америке. Характер структур относительно оси палеоспрединга близок к симметричному, и поэтому упомянутый избыток площади может быть объяснен тем, что Евразийская часть хребта Менделеева, Чукотское плато и хребт Ломоносова являются континентальными “отторженцами” Евразии. Первый и второй от шельфа Восточно-Сибирского моря, третий от Баренцево-Карского-Лаптевоморского блока [19]. Но далее северной границы этих структур “континентальность” не прослеживается. Часть аргументов, подтверждающих эту точку зрения данными геофизических полей, уже приведена. Далее последует анализ гравитационного поля.

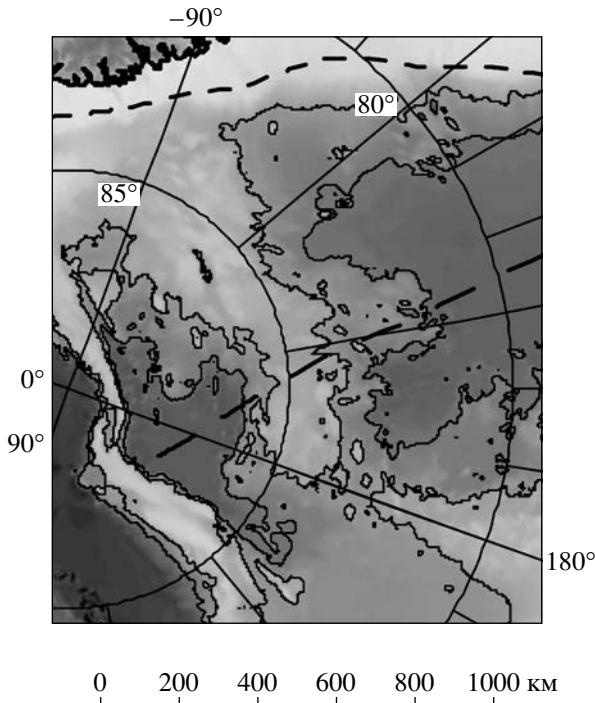
## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

Гравитационные аномалии в свободном воздухе (аномалии Фая) показаны по данным [22] на рис. 6. Известно, что аномалии Фая пропорциональны рельефу дна как наиболее контрастной плотностной границе и в меньшей степени плотностным неоднородностям, что, как правило, приводит к необходимости осуществлять расчет аномалий Буге, в которых влияние рельефа дна, известного из независимых измерений, устраняется. В случаях, когда фундамент котловины закрыт мощным осадочным чехлом, плотность которого также составляет сильный контраст с фундаментом, аномалии Фая отражают рельеф фундамента, погребенного под осадками. Бровка шельфа совпадает с цепочкой краевых максимумов, которые маркируют по периферии котловины зоны с максимальными мощностями осадочных толщ, не затронутые компенсационным изостатическим прогибанием. Рисунок аномалий Фая контрастно показывает особенности форм поверхности фундамента и в тех случаях, где рельеф дна плоский из-за мощного осадочного чехла, позволяет четко проследить его фундамент. Это в полной мере относится и к фундаменту шельфов. Особенности, выделенные по рельефу котловины Макарова (см. рис. 4, 5), по аномалиям Фая приобретают подтверждение интерпретации, данной в предыдущем разделе.

Соотношение аномальных блоков котловины и шельфа Восточно-Сибирского моря может быть

объяснено наличием системы сдвигов северо-восточной ориентации, затрагивающих как котловину, так и шельф. Положение этих сдвигов обсуждается в итоговом разделе статьи. На шельфе Восточно-Сибирского моря по данным [23, 29] выделяются депрессии, параллельные бровке шельфа, заложение которых произошло в позднем мелу около 70 млн. лет [23]. Эти депрессии состоят из главного трога (см. рис. 6), простирающегося почти на 1100 км, и ответвлений, которые пронизывают поднятие Де-Лонга и архипелаг Новосибирских островов с субмеридиональной ориентацией. По данным [23], главный трог шельфа Восточно-Сибирского моря начал формироваться под воздействием сил, инициировавших раскрытие Евразийской котловины и создавших условия для правосдвиговых трансформных нарушений (см. итоговый раздел) в Амеразиском бассейне в присутствии компоненты растяжения. Это, по мнению авторов [23], сформировало депрессии, в которых с позднего мела образовался осадочный чехол мощностью до 7 км. В то же самое время постулируется, что мелкие субмеридиональные депрессии в районе массива Де-Лонга представляют собой систему, не связанную с главным трогом. По рисунку аномалий Фая, тем не менее, видно, что эти депрессии стыкуются с ним и, по нашему мнению, являются системой оперяющих грабенов, возникших при правосдвиговом движении северной части шельфа. В работе [23] также отрицается происхождение этих депрессий под влиянием растяжения гипотетической оси спрединга в котловине Макарова, параллельной хребту Ломоносова, и утверждается, что они являются серией пул-апарт бассейнов, тесно связанных с общей сдвиговой обстановкой в данном регионе.

На востоке, в районе Чукотского плато, главный трог претерпевает изгиб и переходит в трог Хана, ориентация которого говорит об общем правом сдвиге структур фундамента [29]. Южнее острова Врангеля с большой долей вероятности можно предполагать еще одну депрессию, в общих чертах параллельную этому изгибу. Таким образом, имеется правосдвиговое смещение по линии Чукотское плато – Аляска (см. итоговый раздел) и левосдвиговое смещение по трансформным зонам северо-восточной ориентации. Подобная кинематика крупных блоков может существовать в том случае, когда имеется их центробежное смещение от полюса на юг с обтеканием неподвижного блока. В этом случае с одной стороны от неподвижного блока будет правый сдвиг, с другой – левый. Таким, относительно неподвижным блоком может быть поднятие элсибирского (360–140 млн. лет) фундамента в центральной части Чукотского моря [29] вместе с блоком острова Врангеля. Отметим, что в области кинематической нестабильности северных широт дви-



**Рис. 5.** Район поднятый хребта Альфа, показанный в увеличенном масштабе.

жения разной кинематики могут интерферировать в пределах одного блока в разные эпохи развития.

Важной особенностью аномалий Фая (см. рис. 6) является структурный рисунок в пределах Чукотского плато и южной части хребта Менделеева. Он совпадает с типом поля в пределах Евразийского шельфа более, чем с типичным полем котловин, и смещен относительно последнего по трансформным зонам северо-восточной ориентации. Кроме того, в поле шельфа имеются “вакантные” области от поднятия Де-Лонга до острова Врангеля, где наблюдается отсутствие интенсивного мозаичного поля, по площади равное упомянутым сегментам, сдвинутым на север, что скорее всего говорит о миграции этих блоков на область котловин. Подтверждение этой гипотезы присутствует в аномалии Буге (см. далее) и в характерном рисунке взбросовых деформаций, выявляемых по сейсмическим данным [24] на Чукотском плато (см. рис. 7), которые возникли в условиях сжатия внутри плато при горизонтальном перемещении.

В тылу сместившегося блока, по данным максимумов аномалий Фая от некомпенсированного осадконакопления, возникла осадочная линза с депоцентром в 450 км на северо-восток от острова Врангеля. Этот максимум по амплитуде поля и площади аномалии не имеет себе равных в арктическом регионе. Причем каплевидная конфигурация его такова, что

можно сделать вывод о миграции депоцентра на северо-восток вслед за раскрывающимся в тылу Чукотского плато пространством, доступным для осадконакопления. Данная зона и структуры южного сегмента хребта Менделеева представляют собой область растяжения с интенсивным осадконакоплением.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЧАСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

В анализе геофизических данных часто используется метод разделения поля на разночастотные компоненты, разделяемые процедурами фильтрации. Низкочастотная или длиннопериодная компонента потенциального поля, как правило, отражает эффект действия глубинных источников и в большинстве случаев это – структуры фундамента. Высокочастотная или короткопериодная компонента поля отражает действие мелких источников различной конфигурации или наличие градиентных зон, связанных с разломами различной кинематики. Поскольку высокочастотная компонента, как правило, обладает меньшей амплитудой, то часто ее рисунок замаскирован низкочастотным значением и не виден на картах. Так как частоты компоненты поля аддитивны, их можно разделить полосовой фильтрацией. При этом соотношение глубины залегания источника к характерному размеру аномалии будет равно, весьма приблизительно, 1 к 3. В работе [13, рис. 2] приведен пример такого разделения для Арктики с выделением короткопериодных компонент менее 200 км. Эта длина волны разделения означает, что полученное поле отражает гравитационный эффект от источников с 66 км до поверхности. Другими словами, поле представляет собой “коромантийную” смесь источников, в которой амплитуда глубинных компонент по-прежнему будет доминировать над неглубокими. Поэтому в настоящей работе высокочастотная часть гравитационного поля была рассчитана с длиной волны разделения 25 км для получения большего влияния верхов коры и представлена на рис. 8.

Совокупность псевдосимметричных структур в котловине Макарова, выявленная по батиметрии, дополняется линейной структурой (см. итоговый раздел), параллельной хребту Ломоносова на удалениях от 40 до 80 км. Эта структура, скорее всего, является следом локального импульса плутонового высокопродуктивного магматизма. Ее амплитуда в высокочастотных компонентах аномалий Фая сравнима с амплитудой в районе хребта Альфа, а также существенно более контрастна, чем на батиметрии. Это говорит о том, что основной источник поля структуры покрыт осадочным чехлом котловины Макарова. Оказавшись под осью палеоспрединга Амеразийского бассейна, источник базальтов по-

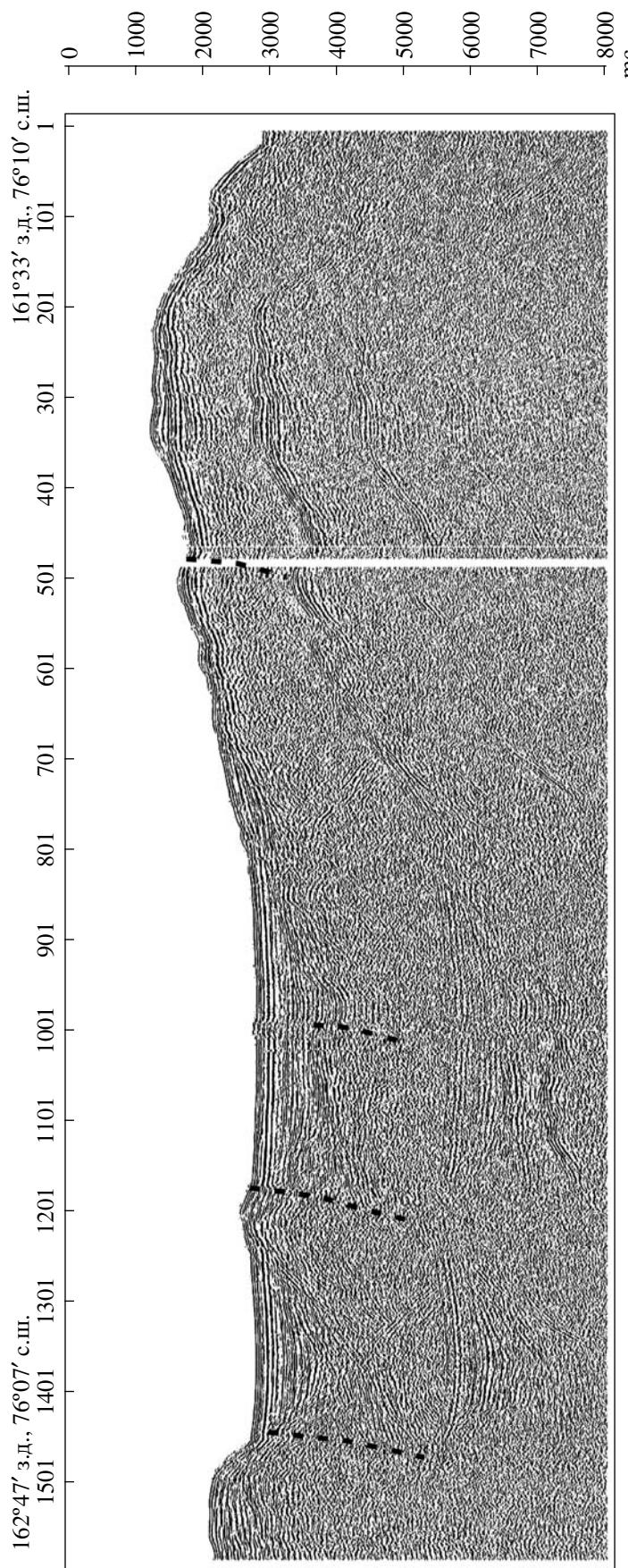


Рис. 7. Сейсмический профиль 92–10 по данным [24] в пределах Чукотского плато (горизонтальный размер профиля – около 40 км, вертикальная развертка – 8 секунд).

вышенной продуктивности сформировал линейную структуру, отличающуюся от коры, наращающейся в соседних сегментах оси палеоспрединга (см. итоговый раздел). Аналогом подобной структуры может быть хребет 90-го градуса в Индийском океане. Другой особенностью, выделяющейся только на данной аномалии (рис. 8) и не видимой в рельефе, является продолжение трансформного разлома, смещающего ось хребта Гаккеля в районе 63-го градуса восточной долготы, через хребет Ломоносова, и нарушающей упомянутую линейную структуру правым сдвигом на такую же величину, как и на хребте Гаккеля, – 25 км. Есть нечеткие признаки того, что этот трансформный разлом идет далее через котловину Макарова и хребет Альфа-Менделеева до северной оконечности Чукотского плато (см. итоговый раздел). Инициация трансформного нарушения в данном месте может быть связана с тем, что сильный локальный изгиб хребтов обусловлен унаследованностью формы Евразийской окраины [2, 13], от которой был отторгнут хребет Ломоносова.

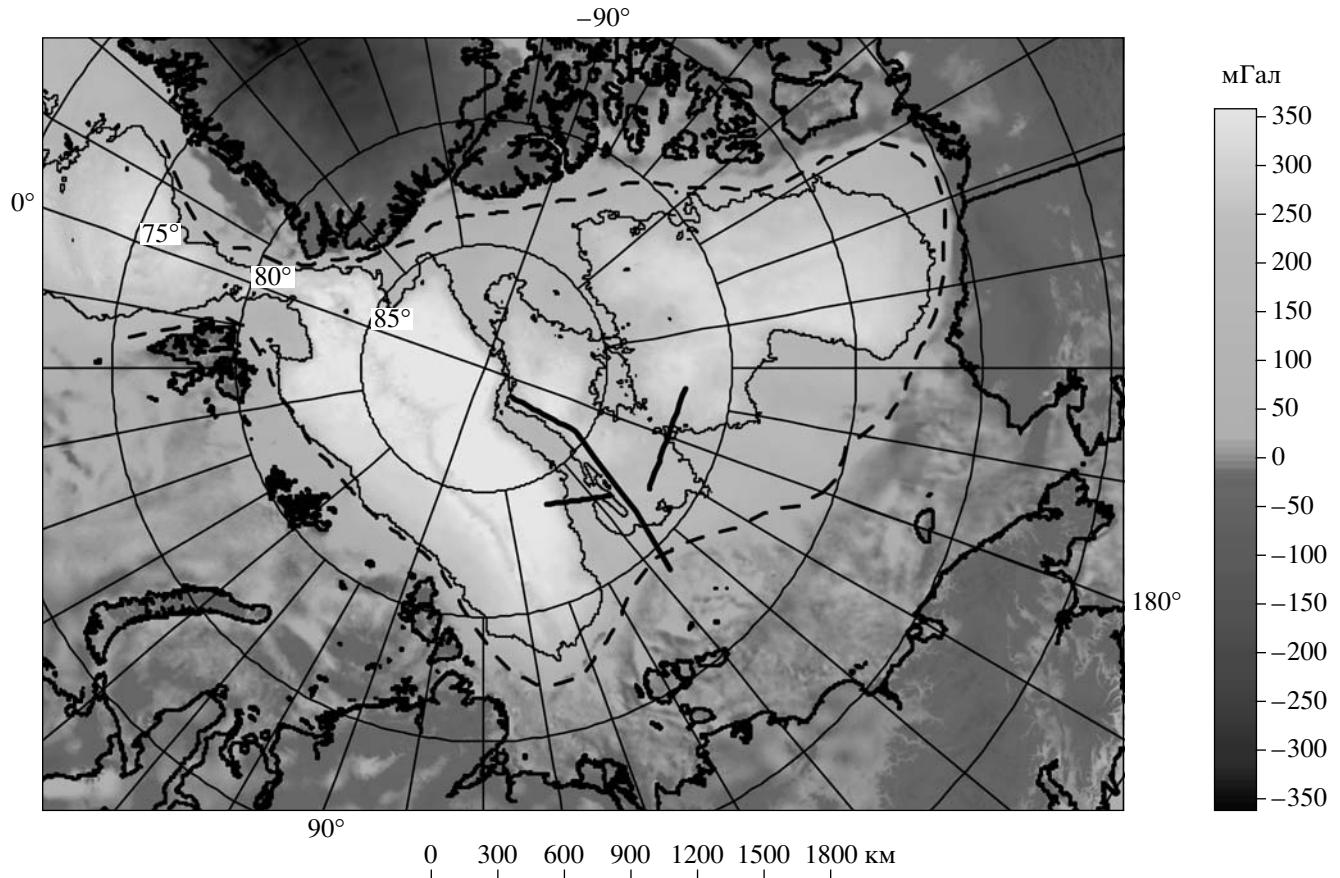
### СРАВНЕНИЕ АНОМАЛИИ БУГЕ И ДАННЫХ ГЛУБИННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (ГСЗ)

Аномалии Буге рассчитаны по данным аномалий Фая и рельефу дна исходя из средней плотности коры  $2.75 \text{ г}/\text{см}^3$  и расчете поправки за рельеф с интегрированием в радиусе 166 км и показаны на рис. 9. Они имеют хорошую корреляцию с данными глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ) по наличию слоя со скоростями 6.0–6.4 (условно называемого “гранитным”). Сопоставление аномалии Буге с данными ГСЗ [11] по северо-восточной окраине Евразии и зоне сочленения с Тихим океаном, особенно хорошо изученной этим методом, показывает, что прослеживание исчезновения “гранитного” слоя, обозначающего переход от континента к океану, сопоставимо с уровнем аномалий Буге около 175 мГал. Данное значение может быть использовано как индикатор типа коры: если аномалии Буге более 175 мГал, то кора океаническая. Исключение составляют случаи, когда сверхпродуктивный магматизм горячей точки формирует мощную базальтовую кору (например, Исландия) до 30 км [10], где также встречается “гранитный” диапазон скоростей, но никаких сомнений в океанической природе коры возникнуть не может.

Практически идеальное совпадение границы континент-оcean, выделяемой по бровке шельфа (изобата 200 м, в Баренцевом море – 400 м) и по изодинаме 175 мГал в районе Баренцево-Карского блока шельфа Евразии, свидетельствует о правильности выбранного критерия, а также о том, что, скорее всего, хребет Ломоносова, почти полностью покры-

тый значениями аномалий Буге менее 175 мГал, также имеет континентальную природу и является отторженцем от этой части Евразии, что также утверждается в работах [2, 13, 36] по другим данным и в частности по плотностному моделированию. Поскольку порог 175 мГал достигается также в районах продуктивного магматизма над плутонами, то вероятность того, что эта структура может быть следом горячей точки от раскрытия Амеразийского бассейна, сохраняется. Псевдосимметричные структуры Ермак-Морис Джессоп с большой вероятностью являются как раз следом магматизма плутона, действовавшего от 56 до 30 млн. лет [26]. Кроме того, данные радиобуев, выполненные на этих структурах, показывают в фундаменте скорости 4.9–5.4 км/с, что, скорее всего, говорит о базальтовой природе фундамента. Система наблюдений ГСЗ, выполненная российскими исследователями в 90-ые и 2000-ом годах [15] (положение см. рис. 9), показала наличие значительной (до 10 км) скоростной линзы с “гранитными” значениями в основании хребта Ломоносова на уровне 83-ей широты, что более чем 400 км дальше бровки шельфа. Этот результат делает интерпретацию данной структуры в качестве континентального “отторженца”, весьма достоверной. При этом нельзя забывать, что окончательный вывод может быть сделан только при бурении фундамента. По данным [9], где приведен анализ данных скважин M0002A и M0004A экспедиции ACEX-302 (IPOD) на хребте Ломоносова и сравнение результатов с данными скважин на структуре Ленинградская в Карском море условия осадконакопления в средне-позднемеловое время определялись трансгрессией, достигавшей нижнего течения р. Енисей, что говорит о единстве обстановки осадконакопления на указанных территориях. Это могло быть в случае принадлежности структур хребта Ломоносова Евразийскому шельфу. Сейсмокомплексы в котловинах Амундсена и Подводников представлены морскими мелководными фациями [9], что говорит о размытии отложений с хребта Ломоносова в разделенные им Евразийский и Амеразийский бассейны.

Практически вся полоса избыточного пространства Амеразийской котловины (см.рис. 4) покрыта значением аномалий Буге ниже 175 мГал. Южный сегмент хребта Менделеева и Чукотское плато имеют значения существенно ниже этого порога. Профиль ГСЗ на хребте Менделеева пересекает его по 82-ому градусу, то есть по северной кромке зоны, где наблюдаются требуемые значения аномалий Буге (см. рис. 9). На этом профиле, по данным [15], “гранитные” скорости проявлены слоем 1.5–2 км, что не очень значимо для надежного выделения признака континентальности, но по совокупности других данных далее этой широты континентальная природа в



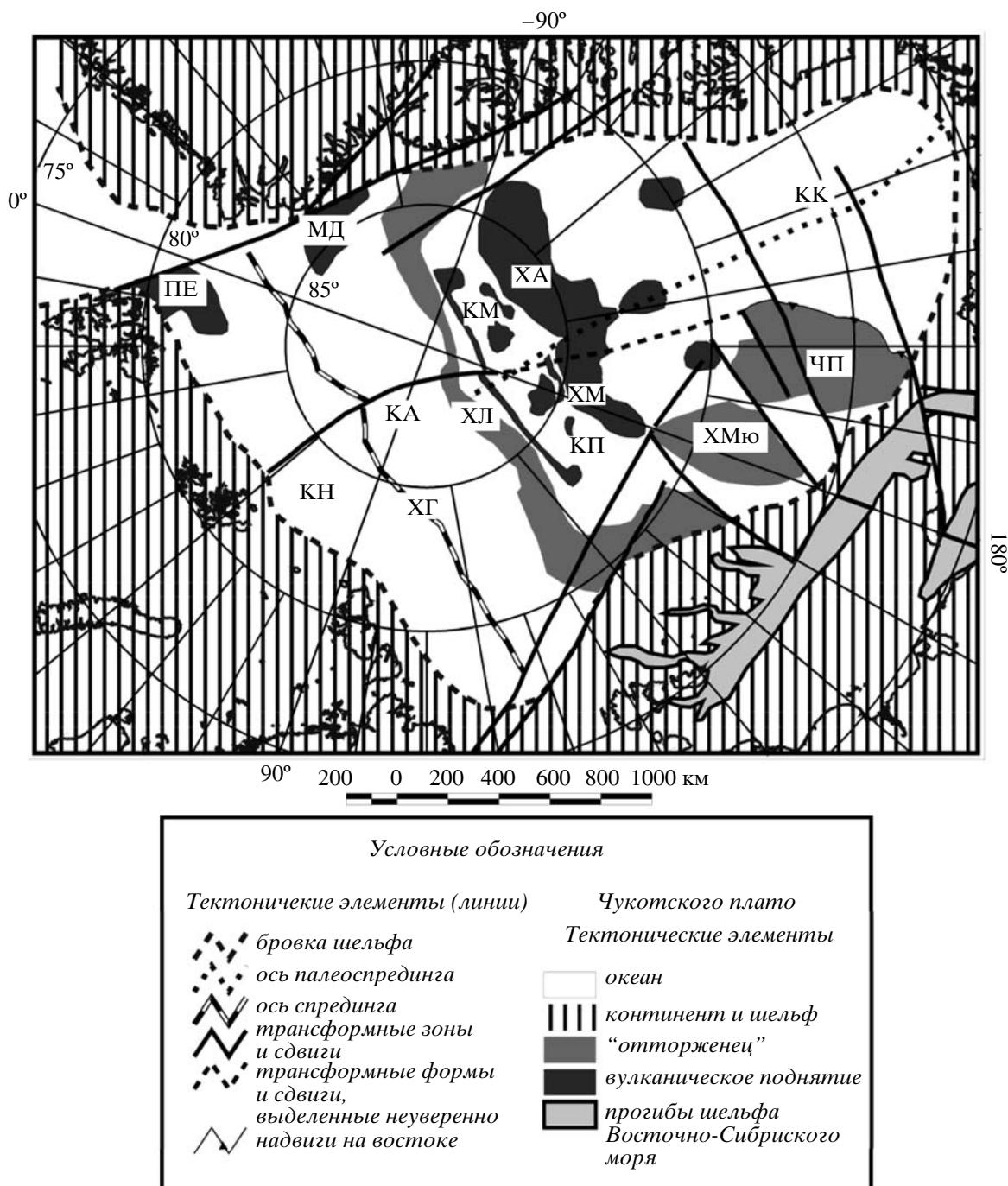
**Рис. 9.** Аномалии Буге, рассчитанные по данным [22, 25], бровка шельфа (пунктирная линия), изодинама 175 мГал (сплошная линия) и положение профилей (с запада на восток) ГСЗ СЛО-92, СЛО-89-91 и Арктика-2000 (жирная линия).

хребте Менделеева распространяться не может. Субмеридиональный профиль СЛО 89–91, расположенный субпараллельно хребту Ломоносова, показывает наличие в нем “гранитных” признаков вплоть до 85-ой широты. Таким образом, совпадение пороговых значений аномалий Буге и данных ГСЗ в этой части хребта является основой для интерпретации этой структуры как континентальной.

Вдоль профиля Арктика-2000 на пересечении южного сегмента хребта Менделеева была проведена серия драгировок [8], при которых были подняты фрагменты осадочных пород – известняков и доломитов, возраст которых по фораминиферам и конодонтам определен в интервале  $S_2-P_1$ . Поднятые фрагменты по данным [8] представляют собой обломки палеозойских пород, связанные с размывом платформенных отложений. Эти данные согласуются с представлением о континентальной природе региона по геофизическим данным.

Структуры северной части хребтов Менделеева и Альфа покрыты значениями аномалий Буге менее 175 мГал, но в силу многих причин, обсуждаемых выше, они, скорее всего, являются следом

сверхпродуктивного плутонового магматизма. Кроме того, плутон по всей видимости имел ответвление, которое смещалось по оси спрединга на юг к Канадской котловине. Структуры южного сегмента хребта Менделеева и Чукотского плато обладают промежуточным уровнем аномалий Буге между ярко выраженным океаническим (200 мГал и более) и континентальным (менее 100 мГал), и их положение между абиссалью и шельфом и значение аномалий Буге может быть объяснено наложением на абиссаль отторгнутых фрагментов. Это говорит о том, что эти блоки оторвались не в результате локального рифтинга, отделяющего блок от континента целиком и сохраняющего континентальное значение аномалий Буге (например, плато Роккол), а, скорее всего, в результате срыва больших коровых пластин. Это явление может происходить в результате действия механизма тангенциальных сил, порождаемых перераспределением момента инерции коровой оболочки Земли к оптимальному для режима вращения Земли виду. Первичное изложение данного механизма приведено в [17].



**Рис. 10.** Тектоническая схема глубоководной части Арктического бассейна и Восточно-Сибирского моря [29, с генерализацией]. Обозначения на карте: ХЛ – хребет Ломоносова, ХА – хребет Альфа, ХМ – хребет Менделеева, ХМю – хребет Менделеева, южная часть, ХГ – хребет Гаккеля, ПЕ – плато Ермак, МД – плато Морис Джессоп, ЧП – Чукотское плато, КН – котловина Нансена, КА – котловина Амундсена, КМ – котловина Макарова, КП – котловина подводников, КК – Канадская котловина.

## ИТОГОВАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СХЕМА И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Обобщение изложенных выше данных и результатов их интерпретации на территории глубоководной части Арктического бассейна и Восточно-Сибирского моря [29, с генерализацией] суммированы на тектонической схеме рис. 10. Тектонические элементы, конфигурация которых обсуждалась выше, на взгляд автора, могут быть объединены в схему, которая включает в себя существующие представления, упоминавшиеся в цитируемых работах. При этом представленная тектоническая интерпретация обладает особенностями, ранее не упоминавшимися. Формирование схемы происходило при следующей геодинамической эволюции региона.

При раскрытии Амеразийского бассейна имело место отделение от Северной Америки Аляски, Чукотского плато, южной части хребта Менделеева и других структур обрамления Евразии, длившееся от 157 до 140 млн. лет (по данным [28] до ~120 млн. лет). Ось палеоспрединга выдвинулась до хребта Ломоносова, и раскрытие Амеразийского бассейна осуществлялось по всей длине, отвечающей современной конфигурации. Особенностью этапа является высокопродуктивный плюмовый магматизм, наложенный на нормальные низкоскоростные спрединговые процессы в нескольких местах оси палеоспрединга (см. вулканические поднятия на рис. 10). Мagma плюма подводилась по трем главным каналам с мелкими ответвлениями, деятельность которых частично или полностью затухла. Главным подводящим каналом был центральный, сформировавший структуру хребта Альфа и испытавший в конце периода активности миграцию около 200 км в сторону Канадской котловины. Это дает нам ценный материал для изучения динамики плюмов. В целом были сформированы обширные вулканические поднятия с псевдосимметричными относительно оси спрединга очертаниями при отсутствии выраженных линейных магнитных аномалий. В начальный этап раскрытия могли формироваться псевдосимметричные континентальные отторженцы с обеих сторон котловины – Евразийской и Северо-Американской. Раскрытие бассейна по оси спрединга, параллельной хребту Гаккеля, при такой конфигурации структур, на наш взгляд, представляется невозможной.

На начальном этапе раскрытия Евразийской котловины около 56 млн. лет назад произошло заложение главной депрессии фундамента Восточно-Сибирского моря (по данным [23], около 70 млн. лет). Условия растяжения вдоль хребта Гаккеля сопровождались формированием трансформных разломных систем северо-восточной ориентации, а депрессия шельфа и ее северное обрамление приобрели правосдвиговую кинематику с небольшой компо-

нентной растяжения. Влияние раскрытия Евразийской котловины на Амеразийскую и шельф Восточно-Сибирского моря, на наш взгляд, выразилось в формировании оперяющей системы мелких грабенов в районе массива Де-Лонга и отделении от шельфа блоков южной части хребта Менделеева и Чукотского плато по системе левых сдвигов в пространстве между главным трогом шельфа и трансформной системой северо-восточного простирания. Таким образом, спрединговые процессы в новом кайнозойском бассейне привели к деструкции евразийской пассивной окраины Амеразийского бассейна. Формирование континентальных отторженцев хребта Менделеева и Чукотского плато по системе левых сдвигов северо-восточной ориентации в настоящий момент не активно, поскольку, по сейсмическим данным [24], перед фронтом Чукотского плато в Канадской Котловине какие-либо деформации отсутствуют. Тем не менее, на самом Чукотском плато наблюдаются взбросовые нарушения. Совокупность выделенных элементов тектоники района между северо-восточными трансформными разломами и главной депрессии шельфа, на наш взгляд, представляет собой набор не только оперяющих грабенов, но и оперяющих взбросо-надвигов и сдвигов (см. рис. 10). Таким образом, в зоне шириной около 700 км (от разломов до депрессии) и длиной около 1800 км (от моря Лаптевых до Чукотского плато) реализован структурный рисунок с характерными свойствами парагенеза сдвиговых зон [4, 20].

Раскрытие Евразийской котловины началось с формирования хребта Ломоносова как континентального отторженца. Вероятность того, что его природа аналогична симметричным по оси палеоспрединга вулканическим поднятиям Амеразийского бассейна все же сохраняется, поскольку после окончания раскрытия последнего 120 млн. лет назад до начала раскрытия нового бассейна прошло около 60 млн. лет, в течение которых этот магматический блок пребывал бы в плотном контакте с континентальной окраиной и был бы подвержен тем же процессам осадконакопления. На западе Евразийской котловины возникли симметричные относительно новой оси спрединга вулканические плато. Сформировалась правосдвиговая трансформная система, смещающая не только хребты Гаккеля и Ломоносова, но и, по нашему мнению, структуры фундамента котловины Макарова и достигающая северного окончания Чукотского плато. В целом, регион имеет систему нарушений по нескольким различным (не менее трех) направлениям, существование которой в условиях нестабильного полярного положения может приводить к активизации тектонических движений по совершенно разным направлениям вдоль заданной разломной сети.

Представленная схема не является окончательной и по мере увеличения изученности региона будет уточняться под давлением новых фактов.

## ВЫВОДЫ

Группа выводов по тектоническим элементам.

1. Зона шириной около 700 км от трансформных разломов северо-восточной ориентации до главной депрессии Восточно-Сибирского моря и длиной около 1800 км от моря Лаптевых до Чукотского плато, по совокупности тектонических элементов, выделенных при интерпретации геофизических данных, представлена структурным рисунком с характерными свойствами парагенеза сдвиговых зон. Эта зона охватывает территорию как шельфа, так и абиссали, в ее пределах происходит деструкция Евразийского обрамления Амеразийского бассейна, сложившегося к началу раскрытия Евразийского бассейна 56 млн. лет назад.

2. Особенностью раскрытия Амеразийского бассейна в период от 157 до 140 (120) млн. лет является высокопродуктивный плюмовый магматизм, наложенный на нормальные низкоскоростные спрединговые процессы в нескольких местах оси палеоспрединга. Мagma подводилась по трем каналам с мелкими ответвлениями, деятельность которых частично или полностью затухла. Главным подводящим каналом был центральный, сформировавший структуру хребта Альфа и испытавший в конце периода активности миграцию около 200 км в сторону Канадской котловины.

3. Правосдвиговая трансформная система, смещающая хребет Гаккеля, смещает также структуры фундамента в котловине Макарова, и, скорее всего, достигает северного окончания Чукотского плато.

## ГРУППА ВЫВОДОВ ПО ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

1. Томография по поверхностным волнам Лява показывает наличие “континентальной” аномалии шириной около 300 км, прилегающей к Евразийскому шельфу, и наличие “океанической” аномалии в районе архипелага Шпицберген.

2. Анализ аномального магнитного поля Амеразийского бассейна подтверждает гипотезу о его формировании в условиях наложения высокопродуктивного магматизма горячей точки на нормальную океаническую спрединговую обстановку, с формированием в рельфе симметричных структур относительно оси палеоспрединга, простирающейся от южной части Канадской котловины до хребта Ломоносова.

3. Анализ гравитационных аномалий в свободном воздухе говорит о наличии в Восточно-Сибир-

ском море и Амеразийском бассейне главного трога и системы оперяющих нарушений, прослеживающихся с шельфа на абиссаль.

4. Анализ высокочастотной части гравитационных аномалий выявляет в фундаменте котловины Макарова линейные структуры, нарушающие продолжением трансформного смещения хребта Гаккеля в районе  $63^{\circ}$  в.д.

Изодинама 175 мГал аномалий Буге осуществляет приблизительную демаркацию между типичными океаническими зонами со значением более 175 мГал и зонами с континентальными свойствами, а также зонами, сформированными в условиях высокопродуктивного магматизма горячей точки, со значениями менее 175 мГал.

Автор выражает глубокую признательность Мазаровичу А.О. за замечания по рукописи статьи и по существу работы. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 06-05-65223, № 05-05-65198 и темы ОНЗ № 14 президиума РАН. Кроме того, работа ассоциирована в научную школу НШ9664 2007.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1996. 186 с.
2. Верба В.В., Губернов А.П., Каминский В.Д., Подгорных Л.В. Природа потенциальных полей Арктического региона // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология / Ред. Д.А. Додин, В.С. Сурков. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. С. 142–149.
3. Глебовский В.Ю., Зайончек А.В., Каминский В.Д., Мащенков С.П. Цифровые базы данных и карты потенциальных полей Северного Ледовитого океана // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология / Ред. Д.А. Додин, В.С. Сурков. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. С. 134–141.
4. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. М.: КДУ, 2005. 496 с.
5. Гуревич Н.И., Меркуьев С.А., Абелская А.А. Эволюция южной части Канадской котловины, Северный Ледовитый океан, по магнитометрическим данным. Докл. РАН. 2006. Т. 407. № 1. С. 92–95.
6. Гуревич Н.И., Меркуьев С.А. Эволюция хребта Альфа по магнитометрическим данным // Докл. РАН. 2005. Т. 401. № 1. С. 75–79.
7. Дмитриев Л.В., Соколов С.Ю., Плечова А.А. Статистическая оценка вариаций состава и Р-Т условий эволюции базальтов срединно-океанических хребтов и их региональное распределение // Петрология. 2006. Т. 14. № 3. С. 227–247.
8. 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.
9. Ким Б.И., Глазер 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.
  10. Международный Геолого-Геофизический атлас Атлантического океана. М.: Изд-во МОК ЮНЕСКО, Мингое СССР, АН СССР, ГУГК СССР, 1990. 158 с.
  11. Международный Геолого-Геофизический Атлас Тихого океана. М.-СПб.: Изд-во МОК ЮНЕСКО, 2003. 192 с.
  12. Нарышкин Г.Д. Рельеф дна Арктического бассейна. Автореф. ... д-ра геогр. наук. М.: МГУ, 2001. 64 с.
  13. Пискарев А.Л. Строение фундамента Евразийского бассейна и центральных хребтов Северного Ледовитого океана // Геотектоника. 2004. № 6. С. 49–66.
  14. Поселов В.А., Верба В.В., Жолондз С.М. Типизация земной коры Центрально-Арктических поднятий Северного Ледовитого океана // Геотектоника. 2007. № 4. С. 48–59.
  15. Поселов В.А., Грамберг И.С., Мурzin Р.Р. и др. Структура и границы континентальной и океанической литосферы Арктического бассейна. Российская Арктика: геологическая история, минералогия, геоэкология. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. С. 121–133.
  16. Российская Арктика: геологическая история, минералогия, геоэкология / Ред. Д.А. Додин, В.С. Сурков. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. 960 с.
  17. Соколов С.Ю. Новый механизм горизонтального движения тектонически активных масс земной коры и литосферы // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы XLI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2008. Т. 2. С. 278–282.
  18. Тектоническая карта Мира. Масштаб 1 : 45000000 / Ред. Ю.Г. Леонов и В.Е. Хайн. Ленинград: Комиссия по международным тектоническим картам АН СССР, ВСЕГЕИ, 1982 г.
  19. Хайн В.Е. Тектоника континентов и океанов (2000 год). М.: Научный мир, 2001. 605 с.
  20. Хайн В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: МГУ, 1995. 480 с.
  21. Coles R.L., Taylor P.T. Magnetic Anomalies. The Arctic Ocean Region // The Geology of North America. Eds. A. Grantz, L. Johnson, J.F. Sweeney. GSA, 1990, Vol. L. P. 119–132.
  22. Forsberg R., Kenyon S. Gravity and Geoid in the Arctic region – the northern polar gap now filled. 2005. ([http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/agp/readme\\_new.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/agp/readme_new.html))
  23. Franke D., Hinz K., Reichert C. Geology of the East-Siberian Sea, Russian Arctic, from seismic images: structures, evolution and implications for the evolution of the Arctic Ocean Basin // Journal of Geophysical Research. 2004. Vol.109. B07106. doi: 10.1029/2003JB002687.
  24. Grantz A., Hart P.E., Phillips R.L., McCormick M., Perkin P.G., Jackson H.R., Gagnon A., Li, S., Byers C., Schatz K.R. Cruise report and preliminary results, Cruise P1–93-AR. Northwind Ridge and Canada Basin, Arctic Ocean, aboard the USCGC Polar Star August 16 to September 15, 1993. // U.S. Geological Survey: Open-File Report 93–389, 1993. 34 p.
  25. IBCAO (International Bathymetric Chart of Arctic Ocean). 2005. (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/arctic.html>)
  26. Kristoffersen Y. Eurasia Basin // The Arctic Ocean Region. The Geology of North America. Eds. A. Grantz, L. Johnson, J.F. Sweeney. GSA, 1990. Vol. L. P. 365–378.
  27. Larson E., Ekström G., Tromp J. Surface waves tomography data. Seismology group, Department of Earth and Planetary Sciences, 1990. Harvard University: <http://www.seismology.harvard.edu>
  28. Lawver L.A., Grantz A., Gahagan L.M. Plate kinematic evolution of the present Arctic region since the Ordovician. Geological Society of America. Special Paper 360. 2001. Chapter 18.
  29. Mazarovich A.O., Sokolov S.Yu. Tectonic subdivision of the Chukchi and East Siberian Seas // Russian Journal of Earth Sciences. 2003. Vol. 5. № 3. P. 185–202.
  30. Michael P.J., Langmuir C.H., Dick H.J.B., Snow J.E., Goldstein S.L., Graham D.W., Lehnert K., Kurash G., Jokat W., Muhe R., Edmonds H. N. Magmatic and amagmatic seafloor generation at the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean // Nature. 2003. Vol. 423. N 26. P.956–961.
  31. Sokolov S.Yu., Sokolov N.S., Dmitriev L.V. Geodynamic zonation of the Atlantic Ocean lithosphere: Application of cluster analysis procedure and zoning inferred from geophysical data // Russian Journal of Earth Sciences. 2008. Vol. 10. ES4001, doi:10.2205/2007ES000218. P. 1–30.
  32. Sweeney J.F., Johnson G.L., Grantz A. Summary. The Arctic Ocean Region // The Geology of North America. Eds. A. Grantz, L. Johnson, J.F. Sweeney. GSA. 1990. Vol. L. P. 619–628.
  33. The Arctic Ocean Region // The Geology of North America. Eds. A. Grantz, L. Johnson, J.F. Sweeney. GSA. 1990. Vol. L. 644 p.
  34. van Wagoner N.A., Williamson M.C., Robinson P.T., Gibson I.L. First Samples of Acoustic Basement Recovered from the Alpha Ridge, Arctic Ocean: New Constraints for the Origin of the Ridge // Polar Geophysics. J. of Geodynamics. Eds. G.L. Johnson, Kamimura. 1986. Vol. 6. № 1–4. P. 117–136.
  35. Verhoef J., Roest W.R., Macnab R., Arkani-Hamed J. and Members of the Project Team. Magnetic anomalies of the Arctic and North Atlantic Oceans and adjacent land areas // GSC Open File 3125. Geological Survey of Canada, Dartmouth NS, 1996.
  36. Weber J.R., Sweeney J.F. Ridges and Basins in the central arctic Ocean The Arctic Ocean Region // The Geology of North America. / Eds. A. Grantz, L. Johnson, J.F. Sweeney. GSA. 1990. Vol. L. P. 305–336.

Рецензенты: Ю.Г. Леонов, Э.В. Шипилов

## Tectonic Elements of the Arctic Region Inferred from Small-Scale Geophysical Fields

S. Yu. Sokolov

*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Pyzhevskii per. 7, 119017, Russia*

*e-mail: geophys@ginras.ru*

*Received January 16, 2008*

**Abstract**—Satellite altimetry data, Bouguer anomalies, anomalous magnetic field, bottom topography, and Love wave tomography for the deepwater part of the Arctic Ocean Basin and East Siberian Sea have made it possible to detect several new regional tectonic elements. The basin area, 700 km wide and 1800 km long, extending from the Laptev Sea to the Chukchi Borderland is a dextral strike-slip zone with structural elements typical of shearing. The destruction of the Eurasian margin surrounding the Amerasia Basin occurs within this zone. The opening of the Amerasia Basin is characterized by intense plume magmatism superimposed on normal slow spreading in several areas of the paleospreading axis. Magma was supplied through three conduits with minor offsets, the activity of which waned partly or completely by the end of basin formation. The main central conduit formed the structure of the Alpha Ridge. The dextral strike-slip system, which displaces the Gakkel Ridge and structural elements in the basement of the Makarov Basin, most likely extends to the northern termination of the Chukchi Borderland.