

УДК 551.72(268.45)

Поздневендский палеоокеан в основании Восточно-Баренцевского мегапрогиба

Черных А.А.

Предложенная работа посвящена вопросу происхождения Восточно-Баренцевского мегапрогиба. Несмотря на то, что наиболее распространенная точка зрения подразумевает его появление в результате континентального рифтогенеза, на основе анализа геолого-геофизических данных признается альтернативная идея, предполагающая фазу кратковременного спрединга в пределах мегапрогиба. Было получено подтверждение присутствия линейных магнитных аномалий в аномальном магнитном поле Северо- и Южно-Баренцевской впадин. Этот факт, наряду с опубликованными данными о глубинном строении мегапрогиба и результатами палинспастической реконструкции, привел к выводу о наличии древней океанической коры Восточно-Баренцевского палеоокеана в основании одноименного мегапрогиба. Результаты анализа потенциальных полей свидетельствуют о существовавшем ранее его продолжении из Южно-Баренцевской впадины в юго-западном направлении, ныне срезанном поясом тиманид на границе Баренцевской и Русской плит. Продолжение палеоокеана в северном направлении из Северо-Баренцевской впадины предполагается через современную восточную часть архипелага Земля Франца-Иосифа. Сделан вывод о том, что Восточно-Баренцевский палеоокеан является отмершей ветвью палеоокеана Япетус и может рассматриваться как «прерванный», появившийся в результате кратковременного спрединга после раскола континентальной коры в зоне рифтогенеза. Время раскрытия палеоокеана оценено поздним вендом, в интервале 580-540 млн. лет назад. Последующее длительное устойчивое погружение океанической коры Восточно-Баренцевского палеоокеана, сопровождаемое неоднократными тектоно-магматическими активизациями в регионе, привело к формированию в фанерозое одноименного мегапрогиба.

Баренцево море является наиболее изученным из морей российской Арктики. В течение последнего полувека на его акватории был выполнен большой объем геолого-геофизических исследований, в результате которых были открыты крупные месторождения углеводородов. Однако наряду с этим, ряд важнейших геологических вопросов до сих пор остается нерешенным. К таким вопросам следует отнести происхождение Восточно-Баренцевского мегапрогиба (ВБМ) - крупнейшего осадочного бассейна во всей Арктике. Данной проблеме и посвящено настоящее исследование.

ВБМ, в составе Северо- и Южно-Баренцевской впадин, разделенных Лудловской седловиной, в структурном отношении располагается между поднятиями Федынского, Центрально-Баренцевским и Персея с запада и Адмиралтейским поднятием с востока (рис. 1). На юге, по существующим представлениям, он ограничен Печороморской седловиной, а на севере - поднятием Земли Франца-Иосифа (ЗФИ). Ряд исследователей рассматривает в составе мегапрогиба также и впадину Святой Анны, отделенную от Северо-Баренцевской впадины Альбановско-Горбовским порогом (рис. 1) и именует его Баренцево-Северо-Карским мегапрогибом [*Супруненко и др., 2009*]. В тектоническом отношении ВБМ зажат между Баренцевской плитой с запада, Северо-Карской микроплитой и Адмиралтейско-Предновоземельским блоком земной коры с востока, и Тимано-Печорской микроплитой и Русской плитой с юга (рис. 2). Возраст верхней части

осадочного чехла ВБМ заверен глубокими скважинами, вскрывшими триасовые толщи непосредственно на его площади. Нижняя, палеозойская часть разреза чехла предполагается по данным скважин, выполненных на структурах его юго-восточного замыкания (Печорское море) [Зуйкова и Миролюбова, 2006], а также на основании разрезов Северного блока Новой Земли [Устрицкий, 2008].

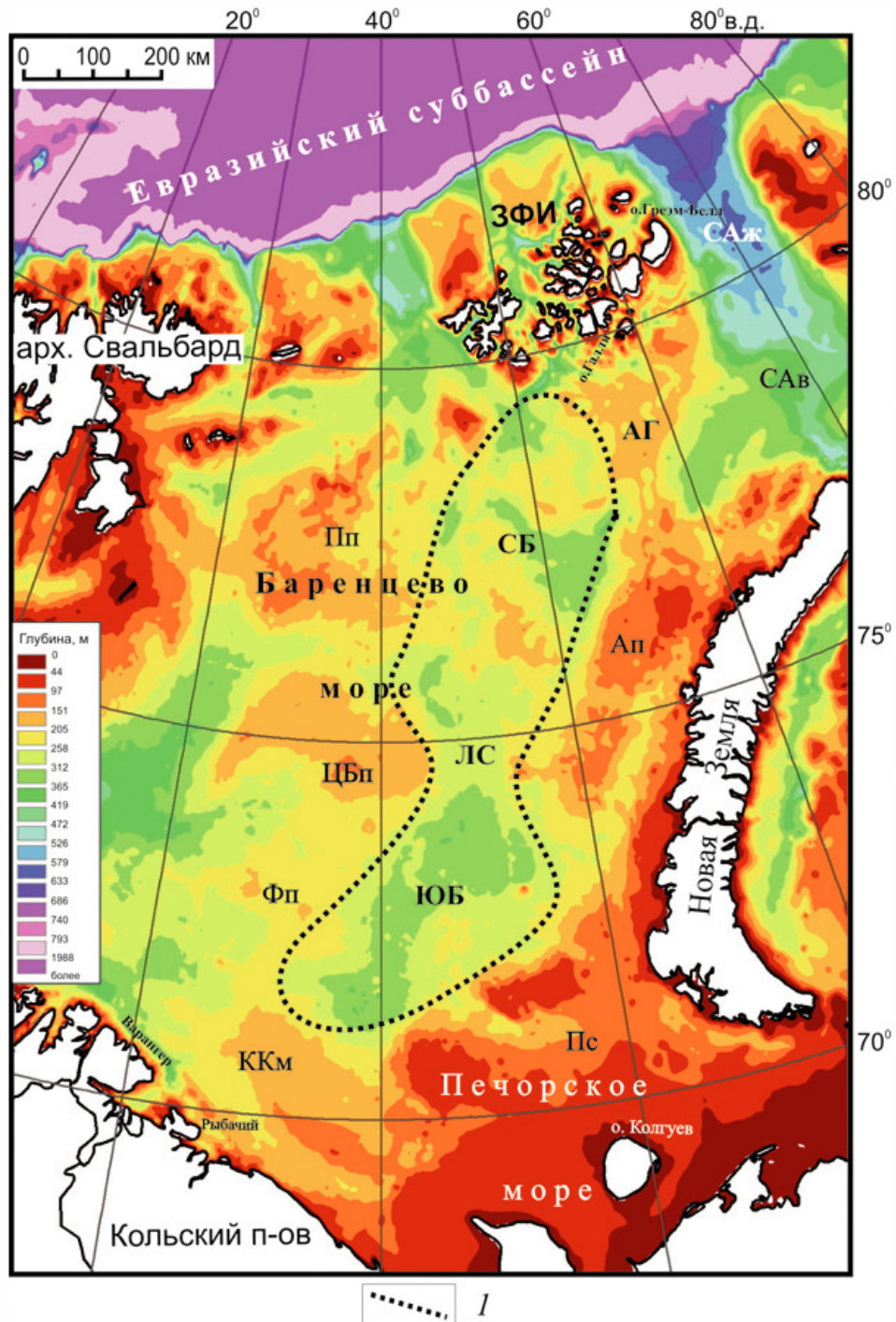


Рис. 1. Обзорная схема района исследований.
Фоновый рисунок — карта глубин моря по модели ИВСАО [25].

I — границы Восточно-Баренцевого мегапрогиба.

АГ — Альбановско-Горбовский порог, Ап — Адмиралтейское поднятие, ККм — Кольско-Канинская моноκлираль, ЛС — Лудловская седловина, Пп — поднятие Персей, Пс — Печороморская седловина, САВ — впадина Святой Анны; САЖ — желоб Святой Анны, СБ — Северо-Баренцевская впадина, Фп — поднятие Фельдынского, ЦБп — Центрально-Баренцевское поднятие, ЮБ — Южно-Баренцевская впадина.

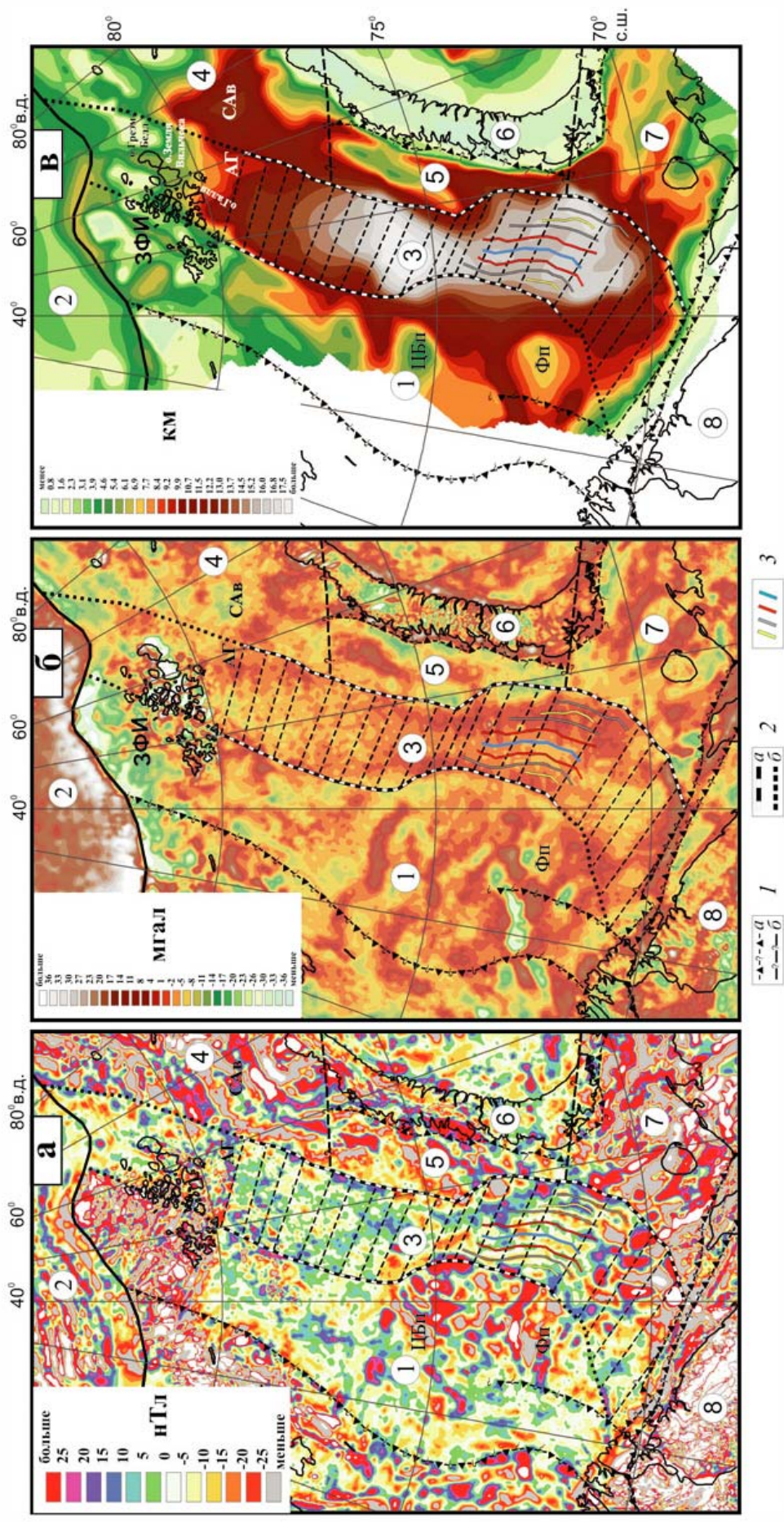


Рис. 2. Положение зоны ЛМА в потенциальных полях: а — в поле локальных магнитных аномалий, б — в поле локальных магнитных аномалий, в — в поле локальных магнитных аномалий, б — в поле рельефа фундамента.

1 — предполагаемые границы блоков, шовные зоны разного типа; а — надвигового, б — сдвигового; 2 — границы зоны ЛМА: а — уверенные, б — предполагаемые; 3 — ЛМА. Цифры на схеме — крупные блоки земной коры: 1 — Баренцевская плита, 2 — Евразийский суббассейн, 3 — зона ЛМА и кора предполагаемого Восточно-Баренцевского палеоокеана, 4 — Северо-Карская микроплита, 5 — Адмиралтейско-Предновоземельский блок, 6 — Пай-Хой-Новоземельская складчатая система, 7 — Тимано-Печорская плита, 8 — Русская плита.

Остальные сокращения см. рис. 1.

В настоящее время существуют две наиболее обоснованные точки зрения по поводу происхождения мегапрогиба.

Первая, наиболее распространенная, впервые высказана М.Л. Вербой [1977] и предполагает его рифтогенный генезис. Это мнение до сих пор поддерживается большинством исследователей. Однако возраст заложения мегапрогиба разными авторами оценивается по-разному. Впервые он был установлен как пермо-триасовый [Верба, 1977]. Позднее ряд исследователей признал его девонский возраст [Шутилов и Тарасов, 1998; Вержбицкий и Кононов, 2010], другие датировали время его заложения вендом [Арктические моря, 2004; Коган и др., 2004].

Альтернативная точка зрения была впервые представлена на геологической карте Северной Евразии [Тектоника северной Евразии, 1980], где на месте ВБМ было показано продолжение раннепалеозойского океана Япетус, т.е. высказано предположение о спрединговой природе основания мегапрогиба. Данная идея была поддержана В.И. Устрицким [1989], а позднее, в 1996 г., в аномальном магнитном поле над мегапрогибом были выделены линейные магнитные аномалии (ЛМА) [Аглонов и др., 1996]. Было установлено позднедевонское время спрединга. В работе [Устрицкий, 2008], с учетом последних геологических данных, предполагается рифейский возраст ВБМ. Таким образом, с течением времени стало очевидно, что заложение мегапрогиба произошло не позднее девона. Однако для однозначного решения вопроса о времени начала формирования и его генезисе полученных данных оказалось недостаточно.

Исходные данные и методика

Основой настоящей работы послужили результаты, полученные в ходе изучения гравитационного и магнитного полей Баренцевоморского региона, выполненного с применением современных компьютерных технологий обработки и интерпретации. Использовались данные по потенциальным полям региона, хранящиеся в отделе системных геолого-геофизических исследований ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга» [Глебовский и др., 2008]. Интерпретация аномального магнитного поля (АМП) выполнена с привлечением маршрутных данных по аэромагнитным съемкам масштаба 1:500 000, выполненных НПО «Севморгео» и ФГУНПП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» в период с 1972 по 2000 гг. На их основе рассчитаны цифровые модели АМП с размером ячейки сети 1 x 1 км. При анализе гравитационного поля использована сводная цифровая модель (аномалии в свободном воздухе), созданная на основе наиболее детальных открытых гравиметрических данных [Глебовский и др., 2008]. Международная цифровая батиметрическая модель ИВСаО версии 2.23 [Jakobsson et al., 2008] применена для расчета поправки за рельеф дна Баренцева моря и пересчета гравитационных аномалий в редукцию Буге с плотностью промежуточного слоя 2,67 г/см³.

Важным приемом при обработке оцифрованных маршрутных данных по аэромагнитным съемкам было применение технологии «дрейпинг» (draping - в контексте - избавление от эффекта «затяжек» на получаемой из маршрутных данных цифровой модели и соответствующей карте АМП). Причина этого заключается в том, что для указанных выше съемок, полученных с помощью ферро-зондовых магнитометров, характерны несистемные вариации уровня поля на соседних маршрутах съемки. Этот эффект отчетливо проявляется в рассчитываемых цифровых моделях и серьезно осложняет изучение деталей строения АМП. Суть технологии «дрейпинг» заключается в последовательном выполнении ряда операций, нацеленных на приведение всех маршрутов съемки к единому уровню, при минимально возможном искажении тонкой структуры АМП. В результате ее применения форма и амплитуда даже незначительных по интенсивности аномалий в процессе итерационной увязки не изменяется, а значения поправок, вводимых в исходные данные, лежат в пределах исходных

среднеквадратических погрешностей съемок. Основы технологии «дрейпинг» разработаны компанией GETECH (г. Лидс, Великобритания), а ее реализация возможна при помощи программного обеспечения Oasis Montaj компании Geosoft (www.geosoft.com). Для указанных выше съемок после обработки по данной технологии погрешности не превысили $\pm 8\div 10$ нТл, а рассчитанные на их основе цифровые модели АМП максимально сохранили информацию о тонкой структуре поля.

Ключевым интерпретационным приемом в работе стал расчет локальных аномалий магнитного и гравитационного полей. Технология состояла в пересчете исходного поля в верхнее полупространство и последующем вычитании полученных результатов из исходного поля. При анализе АМП к полученным цифровым моделям применялся также полосовой фильтр (bandpass filter).

Оценка глубин магнитоактивных источников проведена по методу двумерной деконволюции Вернера [*Werner, 1953; Ku & Sharp, 1983*]. Все указанные выше расчеты выполнены в ПО Oasis Montaj.

Для проверки выдвинутых предположений относительно происхождения ВБМ построены палинспастические реконструкции. Методика их построения приведена ниже.

Финальные выводы основаны на комплексировании результатов интерпретации потенциальных полей, результатах палинспастических реконструкций и опубликованных сейсмических и геологических данных.

Результаты исследования

Выделение ЛМА. На карте локальных аномалий магнитного поля в пределах Южно-Баренцевской впадины отчетливо проявилась система линейных знакопеременных аномалий (рис. 2а), впервые обнаруженная здесь С.В. Аплоновым с соавторами [*1996*]. Тогда эти аномалии были выделены в качестве средневолновых при применении к АМП адаптивного энергетического фильтра. В настоящем исследовании также использована идея о выделении ЛМА в качестве средневолновых аномалий, но с использованием двух разных фильтров.

Первый из них - процедура продолжения поля в верхнее полупространство. Она является «чистым» фильтром, не вносящим искажения в исходные данные. Процедура позволяет более корректно по сравнению с другими фильтрами минимизировать эффект от источников, находящихся выше определенной глубины. Для цифровых моделей АМП процедура применялась дважды - для исключения сигнала от малоглубинных источников (в том числе и шума) и для исключения регионального фона. Оптимальные высоты пересчета вверх, необходимые для выделения ЛМА, установлены экспериментально. В результате, амплитуда аномалий в Южно-Баренцевской впадине в среднем составила +25 нТл (до ± 40 нТл), что существенно превысило вышеуказанную среднеквадратическую погрешность съемок после их обработки. Это позволило изучить морфологию аномалий существенно детальней, нежели это было сделано в работе [*Аплонов и др., 1996*]. Этот фильтр использовался в качестве основного.

Второй фильтр - полосовой (bandpass filter). Граничные длины волн фильтра определялись экспериментально по АМП Южно-Баренцевской впадины таким образом, чтобы получаемые средневолновые аномалии по пространственному положению максимально соответствовали аномалиям, выделенным при помощи первого, более «чистого» фильтра. Результаты полосовой фильтрации АМП позволили проследить морфологию ЛМА в ВБМ в генеральном плане на участках поля сложного строения, где это было затруднительно выполнить на основе анализа средневолновых аномалий, рассчитанных при использовании процедуры продолжения поля в верхнее полупространство.

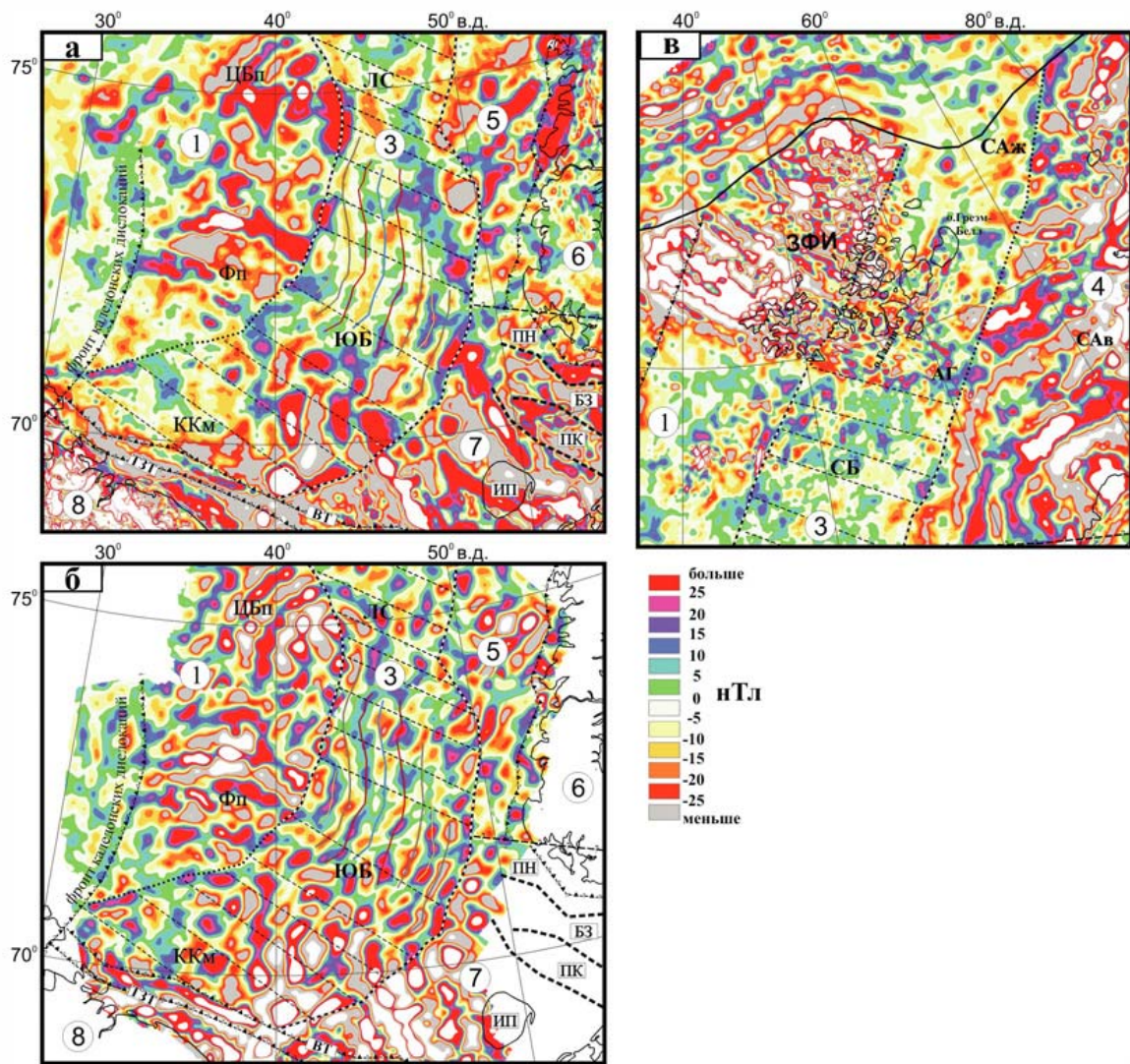


Рис. 3. Районы южного (а, б) и северного (в) замыкания зоны ЛМА: поля локальных магнитных аномалий (а, в); магнитные аномалии, выделенные с применением полосовой фильтрации (б).

ВТ — Восточно-Тиманский разлом; ТЗТ — Тролльфьорд-Западно-Тиманский разлом; мегаблоки Тимано-Печорской микроплиты (по [4]): БЗ — Большеземельский, ИП — Ижма-Печорский, ПК — Печоро-Колвинский, ПН — Предновоземельский.

Остальные сокращения см. рис. 1.

Глубина залегания источников ЛМА. С целью выяснения глубин залегания магнитоактивных источников, порождающих наблюдаемые в Южно-Баренцевской впадине ЛМА, выполнены расчеты по методике двухмерной деконволюции Вернера. Глубины залегания верхних кромок тел, рассчитанные как для модели «дайка», так и для модели «контакт», в центральной части впадины лежат в диапазоне 17-22 км. Эффективная намагниченность тел по результатам расчетов варьирует в диапазоне 5-10 А/м. Соотнесение полученных результатов с опубликованными сейсмическими данными [Коган и др., 2004] позволяет сделать вывод о сосредоточении источников наблюдаемых ЛМА ниже подошвы осадочного чехла.

Прослеживание ЛМА. ЛМА уверенно установлены в пределах Южно-Баренцевской впадины и предположительно - в Северо-Баренцевской. Зона распространения аномалий прослежена от района севернее п-ва Рыбачий и почти до южного окончания ЗФИ. По результатам комплексной интерпретации потенциальных полей предполагается ее дальнейшее продолжение в северо-восточном направлении через восточную часть ЗФИ вплоть до сочленения с Евразийским суббассейном и в юго-

западном направлении до границы с Русской плитой, как показано на (рис. 2). Зона ЛМА хорошо выражена и в локальных аномалиях гравитационного поля, причем ее центральная часть характеризуется пониженными значениями поля, а симметричные периферийные - повышенными (рис. 2б). Важно отметить, что по данным потенциальных полей эта зона не трассируется из Северо-Баренцевской впадины через Альбановско-Горбовский порог в южную часть впадины Святой Анны (рис. 2а, 2б).

Наиболее четко аномалии различимы в северной половине Южно-Баренцевской впадины (рис. 3а, 3б). Здесь наблюдается их линейный характер и предполагается симметрия относительно осевой аномалии. Уверенно прослежены разрывные нарушения северо-западного направления, сегментирующие зону ЛМА. В отличие от этого, в южной половине впадины линейная форма и симметрия аномалий нарушается, и АМП имеет здесь сложное строение. Трудность прослеживания ЛМА в этом районе не в последнюю очередь связана с неудачным - субпараллельным им положением маршрутов аэромагнитной съемки. Другой причиной могут быть последствия более поздних по отношению ко времени появления аномалий тектоно-магматических активизаций, что обсуждается ниже.

Невозможность уверенно проследить юго-западное продолжение зоны ЛМА на основе имеющихся данных приводит к двум возможным вариантам ее замыкания. Первый, предложенный автором ранее [*Черных, 2010*], предполагал ее срезание восточным фронтом скандинавских каледонид близ п-ва Варангер (рис. 2, 3а). Их акваториальное продолжение отчетливо выражено в АМП [*Barrere et al., 2009*]. Оно ограничивает распространение характерного магнитного поля от более древних блоков Баренцевской плиты (поднятий Федынского и Центрально-Баренцевского) в западном направлении (рис. 3а, б). Второй вариант, предлагаемый в настоящей работе, - срезание зоны ЛМА происходит по линейamentу (разлому) Тролльфиорд - Западно-Тиманский на границе Баренцевской и Русской плит [*Шипилов и др., 2008*] (рис. 3а, б).

Гипотеза о продолжении ЛМА из Южно-Баренцевской впадины в западном направлении принципиально отличается от высказанной ранее С.В. Аплоновым с коллегами. Ими предполагалось, что аномалии в южной части упомянутой впадины срезаются крупной сдвиговой зоной юго-восточного простирания, протягивающейся в Печоро-Колвинский рифт Тимано-Печорской микроплиты [*Аплонов и др., 1996*]. Результаты настоящей работы не позволяют склониться к такому выводу (рис. 3а).

На основе имеющихся магнитометрических данных не удалось проследить ЛМА в пределах Лудловской седловины (рис. 2, 3а, 3б). В Северо-Баренцевской впадине их прослеживание затруднено, и потому результаты спекулятивны и не представлены на рисунках. АМП впадины и района ЗФИ характеризуется наличием большого количества преимущественно небольших высокоамплитудных аномалий различных форм, включая их цепочки северо-восточного и северо-западного, более характерного для площади ЗФИ простирания (рис. 2а, 3в). Эти аномалии, продуцируемые малоглубинными магнитноактивными телами, маскируют структуру древнего кристаллического фундамента района. Тем не менее, как уже было сказано выше, комплексный анализ магнитного и гравитационных полей позволяет предполагать продолжение зоны ЛМА из Южно-Баренцевской впадины в Северо-Баренцевскую, как это показано на рис. 2. Указанная зона в пределах перечисленных впадин пространственно коррелирует с наиболее погруженными областями фундамента ВБМ, установленного по данным сейсморазведки (рис. 2в, глубины фундамента - по материалам М.К. Косько).

Если в АМП Северо-Баренцевской впадины автором все же делались попытки трассирования ЛМА, то на расстоянии около 100 км южнее ЗФИ аномалии становятся полностью неразличимы (рис. 3в). Однако далее в северо-восточном направлении через юго-восточную часть архипелага вплоть до бровки шельфа в АМП присутствует аномальная зона, также хорошо различимая между смежными контрастными областями поля: с запада - северо-западной частью ЗФИ и с востока - Северо-Карской микроплиты

(рис. 2а, 3в). В этой зоне присутствуют отдельные более крупные протяженные аномалии северо-восточного простирания согласного с общим простиранием ЛМА на площади Северо-Баренцевской впадины. Принимая во внимание вышесказанное, а также результаты анализа поля локальных гравитационных аномалий (рис. 2а), можно предположить существовавшее ранее продолжение зоны ЛМА из Северо-Баренцевской впадины через юго-восточную часть ЗФИ вплоть до границы с современным Евразийским суббассейном. Более того, следы этой зоны отчетливо различимы в потенциальных полях хребта Ломоносова и находятся непосредственно на ее продолжении при закрытии Евразийского суббассейна.

Палинспастическая реконструкция

Наличие ЛМА в АМП само по себе не является свидетельством океанического происхождения литосферы изучаемого блока земной коры. Дополнительным аргументом в пользу такого предположения могут послужить факты, установленные в результате уникальных глубинных сейсмических исследований, выполненных в регионе в 1991-1995 гг. [Коган и др., 2004]. Тогда в осевой зоне ВБМ было обнаружено утонение консолидированной коры, достигающее 5-6 км за счет выклинивания «гранитного» слоя. Наряду с особенностями глубинного строения ВБМ, нашедшими отражение в опубликованных разрезах [Коган и др., 2004], этот факт может свидетельствовать о том, что процесс растяжения континентальной коры в мегапрогибе дошел до стадии кратковременного спрединга.

Весомым аргументом в пользу океанического происхождения блока земной коры может послужить палинспастическая реконструкция, иллюстрирующая его появление в результате спрединга дна гипотетического палеоокеана. Восстановление истории раскрытия палеоокеана возможно в результате анализа АМП рассматриваемого блока, выявления ЛМА и затем - пошагового «закрытия» обратно во времени путем совмещения парных аномалий. Если полное закрытие окажется возможным в рамках предполагаемой геометрии ЛМА и принципа жесткости литосферных блоков на его периферии без перекрытия последних, то гипотеза о существовании палеоокеана станет более обоснованной.

В соответствии с этим, была предпринята попытка реконструкции раскрытия предполагаемого в основании ВБМ палеоокеана - Восточно-Баренцевского палеоокеана (название предложено в [Устрицкий, 2008]), выполненная при следующих двух допущениях (рис. 4а). Во-первых, с учетом вышеупомянутых фактов, было предположено продолжение палеоокеана в юго-западном направлении (в современных координатах). Во-вторых, как прямое продолжение палеоокеана рассматривалась упомянутая область на северо-восточном продолжении зоны ЛМА через юго-восточную часть ЗФИ, вплоть до бровки шельфа.

Вследствие невозможности достоверного прослеживания ЛМА на всей или хотя бы на большей части ВБМ, закрытие палеоокеана было выполнено в результате сближения блоков земной коры на его флангах с использованием установленных тектонических нарушений северо-западного простирания (рис. 2, 3) в качестве линий дрейфа. Результаты реконструкции свидетельствуют о возможности раскрытия палеоокеана в предполагаемой геометрии. Анализ АМП блоков, совмещенных при закрытии океана, также позволяет сделать вывод о корректности предлагаемой модели. Рисунок 4а достаточно убедительно иллюстрирует факт изначального единства блоков земной коры, оказавшихся по разные стороны палеоокеана после его раскрытия. Так, на западном борте ВБМ, в зоне поднятий Федынского и Центрально-Баренцевского, могут быть прослежены продолжения структурных элементов фундамента Тимано-Печорской плиты (названия блоков и разломов даны по [Вахнин, 2010; Шупилов и др., 2008]) и Адмиралтейско-Предновоземельского блока (рис. 4а). Гравитационное поле гораздо менее консервативно

в отношении сохранности следов древней структуры фундамента, но отдельные признаки сингенетичности блоков земной коры на разных флангах современного ВБМ все же различимы (рис. 4б). Рисунок 4в демонстрирует взаимоотношение блоков фундамента в их современном гипсометрическом положении (показаны глубины до поверхности кристаллического фундамента; материалы предоставлены М.К. Косько) при закрытии палеоокеана, т.е. на момент раскола.

Обсуждение результатов

Результаты проведенного исследования позволили сделать вывод о существовании древней океанической литосферы Восточно-Баренцевского палеоокеана (ВБП) в основании одноименного мегапрогиба. Симметрия ЛМА в Южно-Баренцевской впадине наряду с симметричным поперечным строением ВБМ, подъем раздела Мохо и утонение консолидированной коры в мегапрогибе до 5-6 км по данным глубинных сейсмических разрезов [Коган и др., 2004] - эти аргументы позволяют отнести ВБП к классу «несостоявшихся», а точнее «прерванных» океанов (aborted ocean) [Апლოнов и др., 1996; Аплонов, 1988]. Он был сформирован в результате кратковременного по геологическим меркам спрединга. При ширине палеоокеана, не превышающей 300 км (максимальной в Южно-Баренцевской впадине и уменьшающейся в северном направлении), даже при низкой полной скорости спрединга, равной 2 см/год, его раскрытие заняло бы не более 15 млн лет. Раскол континентальной коры в зоне рифтогенеза произошел на месте современного ВБМ, в составе Северо- и Южно-Баренцевской впадин и, предположительно, на месте современной восточной части ЗФИ (рис. 2).

Причиной плохой сохранности ЛМА в АМП, отмеченной выше, являются последствия тектоно-магматических активизаций, более поздних по отношению ко времени появления аномалий. Так, в северной и центральной частях Баренцевоморского региона интенсивно проявилась наиболее молодая и хорошо изученная из них - позднекимммерийско-альпийская [Комарицкий и Шитлов, 1991; Кораго и др., 2008; Столбов, 2005]. Как отмечалось выше, АМП здесь осложнено аномалиями от малоглубинных источников (рис. 2а, 3в). Существующие данные позволяют уверенно соотнести их с интрузивными телами, большая часть которых сконцентрирована в перм-триасовых отложениях [Комарицкий и Шитлов, 1991; Кораго, 2004; Столбов, 2005; Ivanova et al., 2011 и др.]. Значительное влияние на структуру ВБМ оказали герцинские события, связанные с закрытием Уральского океана и формированием Пай-Хой-Новоземельской складчатой системы. Вызванные ими деформации в восточном борту мегапрогиба отчетливо устанавливаются на сейсмических разрезах [Коган и др., 2004; Ivanova et al., 2011]. Юго-западную часть Южно-Баренцевской впадины, где также не удастся уверенно проследить ЛМА, по-видимому, в большей степени затронули каледонская и тиманская (обсуждается ниже) тектоно-магматические активизации.

В пользу гипотезы о прямом северо-восточном продолжении ВБП из Северо-Баренцевской впадины могут свидетельствовать малочисленные сейсмические данные [Качурина и др., 2001] и результаты бурения на ЗФИ [Арктические моря, 2004]. Они указывают на существование глубокого прогиба, депоцентр которого (не позднее триаса), находился на линии островов Галля - Грэм-Белл (Вильчековская структурная зона [Арктические моря, 2004]) в восточной части архипелага (рис. 2в). Вместе с тем, по отношению к Северо-Баренцевской впадине ЗФИ в настоящее время представляет собой поднятие, и глубины залегания фундамента здесь не превышают 7-8 км (рис. 2в) [Арктические моря, 2004; Ivanova et al., 2011].

Важно отметить, что результаты интерпретации потенциальных полей (в первую очередь, АМП) не позволяют допустить продолжения зоны ЛМА и, соответственно, океанической коры ВБП из Северо-Баренцевской впадины во впадину Святой Анны (рис. 2, 3в). По-видимому, фундамент этих структур разный. Если в основании ВБМ

предполагается океаническая кора ВБП, то для впадины Святой Анны результаты реконструкции на рис. 4_г допускают, что она могла являться частью системы рифтогенных прогибов, формировавшейся перед раскрытием палеоокеана.

Завершая обсуждение проблемы северного продолжения ВБП, остается констатировать, что имеющихся данных явно недостаточно для ее однозначного решения. Многие ключевые вопросы геологии региона, включая палеогеографию Северо-Карской микроплиты, до сих пор остаются невыясненными. Такое положение дел не дает возможности судить о возрасте ВБП.

Установленный выше факт продолжения структур фундамента Тимано-Печорской микроплиты на западном борту ВБМ означает (рис. 4), что рифтинг континентальной коры на месте будущих палеоокеана и мегапрогиба мог произойти лишь позднее времени стабилизации ее фундамента. Последнее для байкальских Ижма-Печорского и Большеземельского геоблоков [Вахнин, 2010] (рис. 3) оценивается равным 620-580 млн лет назад [Аглонов и др., 1996; Шипилов и др., 2008 и др.].

С другой стороны, полученные результаты приводят к выводу о том, что раскрытие ВБП предшествовало каледонской орогении, сопровождавшей закрытие палеоокеана Япетус. Анализ потенциальных полей показывает, что проявленные в них каледонские дислокации кристаллического фундамента близ юго-западного замыкания ВБП у п-ва Варангер довольно значительные и являются наиболее поздними по времени (рис. 2, 3). Известно, что главная фаза скандинавской складчатости датируется средним - поздним силуром - около 420 млн лет назад [Аглонов и др., 1996]. Таким образом, оказывается, что время раскрытия ВБП совпадает со временем существования палеоокеана Япетус (приблизительно 580-420 млн лет назад [Аглонов и др., 1996]). Если учесть близкое пространственное положение палеоокеанов, напрашивается вывод об их генетической связи, что высказывалось ранее [Богданов, 2004; Тектоника Северной Евразии, 1980; Устрицкий, 1989].

Характер южного замыкания ВБП тоже неоднозначен. Два возможных варианта, каждый из которых позволяет судить о времени раскрытия палеоокеана и формирования ВБМ, были предложены выше.

В первом варианте, высказанном автором ранее [Черных, 2010], допускалось, что зона ЛМА рассекает пояс тиманид на краю Русской платформы и исчезает под восточным фронтом каледонид (рис. 3а). Это подразумевает более поздний возраст палеоокеана по отношению ко времени коллизии Тимано-Печорской плиты в составе Баренции с Русской плитой. В этом случае рифтинг континентальной литосферы на месте будущего палеоокеана мог начаться не ранее указанного события, датированного началом кембрия, т.е. не ранее 540-530 млн лет назад [Аглонов и др., 1996]. Логично предположить, что спрединг мог произойти не ранее позднекембрийского времени. Таким образом, в этом варианте возможное время открытия ВБП определяется как позднекембрийское - раннесилурийское. Исходя из этого, наиболее вероятной геодинамической моделью появления ВБП является его раскрытие в обстановке задугового спрединга, связанного с завершающей стадией закрытия палеоокеана Япетус.

Второй возможный вариант предполагает срезание юго-западного продолжения зоны ЛМА поясом тиманид и, следовательно, - раскрытие ВБП ранее времени столкновения Баренции и Русской плиты (540-530 млн лет назад [Аглонов и др., 1996]). Это может объяснить существенные деформации, которым подверглась примыкающая к коллизионному шву часть ВБП, и невозможность проследить здесь ЛМА. Закономерным оказывается и формирование в последующем Кольско-Канинской моноклинали на месте надвинутых на край Русской плиты структур Баренции. В этом случае раскрытие палеоокеана имело место в докембрийское время, в интервале 580-540 млн лет назад. Для этого варианта наиболее правдоподобной геодинамической моделью представляется раскрытие ВБП синхронно с началом раскрытия палеоокеана Япетус. Древняя океаническая кора в основании ВБМ может являться отмершей (неудавшейся) восточной

(в современных координатах) ветвью палеоокеана Япетус. Полным аналогом данной геодинамической ситуации может быть остановка раскрытия Атлантического океана к западу от Гренландии и сохранение океанической коры в Лабрадорском море и Баффиновом заливе в настоящее время.

Выбор в пользу одного из предложенных вариантов может быть сделан при привлечении геологических данных. Их подробный анализ выходит за рамки настоящей работы. На данном этапе краткий обзор опубликованных геологических материалов показывает, что возможность рифтогенеза в позднем кембрии и последующего кратковременного спрединга в ордовике - раннем силуре на месте современного ВБМ маловероятна. Свидетельства обстановок рифтогенеза известны в регионе для позднедевонского времени (Тимано-Печорская плита, Пай-Хой, Новая Земля) [Аглонов и др., 1996; Кораго, 2004]. С другой стороны, В.И. Устрицким, на основании исследования данных бурения в Печорском море и геологических разрезов северного блока Новой Земли, сделан вывод о допалеозойском возрасте океанического фундамента ВБМ [Устрицкий, 2008]. Признавая его выводы достаточно убедительными, остается склониться ко второму из предложенных вариантов, т.е. к заключению о раскрытии ВБП в конце венда, на ранних стадиях существования палеоокеана Япетус, около 580-540 млн лет назад.

Рассматривая дальнейшую эволюцию ВБМ, заложенного на океаническом основании «прерванного», по-видимому, поздневендского Восточно-Баренцевского палеоокеана, автор разделяют точку зрения В.И. Устрицкого о том, что «... его первично-океаническая природа не исключает влияния последующего рифтогенеза, в той или иной мере трансформирующего структуру...» [Устрицкий, 1989]. Свидетельства неоднократных тектоно-магматических активизаций Баренцевоморского региона были отмечены выше. Тем не менее, именно океаническая природа литосферы в основании ВБМ предопределила его длительное устойчивое погружение в фанерозое.

Выводы

В ходе настоящего исследования было подтверждено наличие линейных магнитных аномалий в магнитном поле Северо- и Южно-Баренцевской впадин Восточно-Баренцевского мегапрогиба. Наиболее уверенно они прослежены в северной половине Южно-Баренцевской впадины, где установлен факт их симметричности относительно осевой аномалии. В результате интерпретации данных потенциальных полей оконтурена зона распространения ЛМА. На севере предполагается ее продолжение в северо-восточном направлении через юго-восточную часть архипелага вплоть до бровки шельфа. В потенциальных полях не обнаружено свидетельств распространения этой зоны во впадину Святой Анны. На юге предполагается срезание зоны ЛМА близ границы Русской и Баренцевской плит.

Вывод о спрединговой природе ЛМА подтвержден результатами палинспастической реконструкции. Выполнено закрытие предполагаемого в основании мегапрогиба Восточно-Баренцевского палеоокеана. В результате реконструкции установлено исходное единство блоков древнего (байкальского) фундамента, в настоящее время находящихся по разные стороны от мегапрогиба.

По-видимому, раскрытие Восточно-Баренцевского палеоокеана имело место в поздневендское время, в интервале 580-540 млн лет назад. Наиболее вероятной геодинамической моделью представляется его появление как ветви палеоокеана Япетус и последующим ее отмиранием. В этом случае, Восточно-Баренцевский палеоокеан следует отнести к молодым «неудавшимся» океанам. Последующее длительное и устойчивое погружение океанической коры Восточно-Баренцевского палеоокеана, сопровождаемое неоднократными тектоно-магматическими активизациями в регионе, привело к формированию в фанерозое одноименного мегапрогиба.

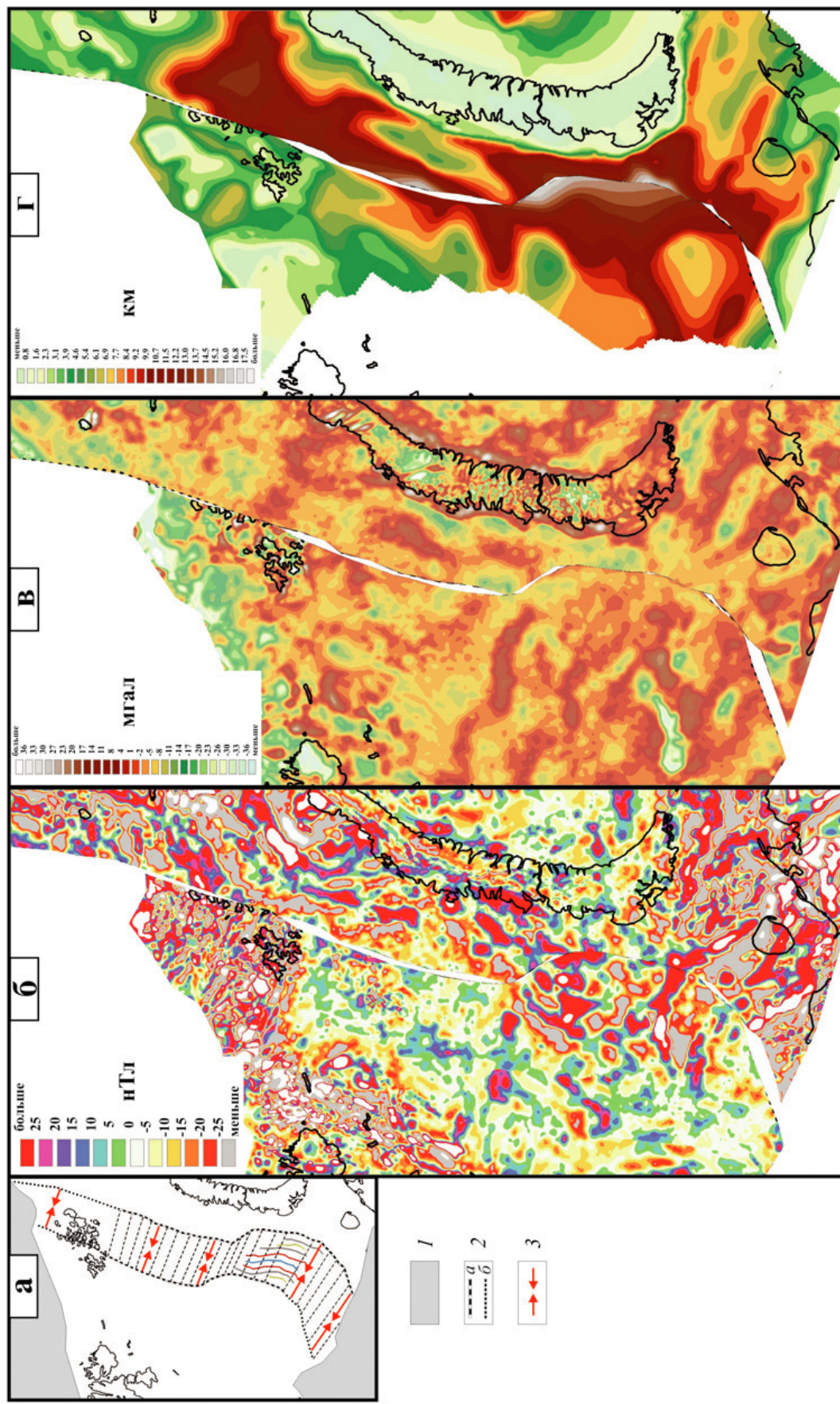


Рис. 4. Палинотетические реконструкции: схема реконструкции (а); локальные магнитные аномалии (б); локальные аномалии поля силы тяжести (в); современный рельеф поверхности фундамента (г) блоков земной коры, совмещенных при закрытии предполагаемого палеоокеана.

1 — области земной коры, исключенные при реконструкции; 2 — границы Восточно-Баренцевого палеоокеана; а — уверенные, б — предполагаемые; 3 — направления закрытия палеоокеана.

Автор выражает глубокую признательность д.г.-м.н. В.И. Устрицкому и д.г.-м.н. С.В. Аплонову за тщательный анализ работы и полезные критические замечания.

Список литературы

1. Аплонов С.В., Шмелев Г.Б., Краснов Д.К. Геодинамика Баренцево-Карского шельфа (по геофизическим данным) // Геотектоника. 1996. № 4. С. 58-76.
2. Арктические моря // Геология и полезные ископаемые России: В 6 т. Т. 5. Арктические и дальневосточные моря, кн. 1. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. 468 с.
3. Богданов Н.А. [Тектоника Арктического океана](#) // Геотектоника. 2004. № 3. С. 13-30.
4. Вахнин М.Г. Влияние блокового строения Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна на морфологические свойства локальных структур // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 5. С. 2-5.
5. Верба М.Л. О процессах растяжения земной коры на Баренцевоморском шельфе // Природные ресурсы и естественные ресурсы северных морей. Л.: Географическое общество СССР. 1977. С. 28-32.
6. Вержбицкий Е.В., Кононов М.В. Генезис литосферы северной части Мирового океана. М.: Научный мир. 2010. 480 с.
7. Глебовский В.Ю., Верба В.В., Каминский В.Д. Потенциальные поля Арктического бассейна: история изучения, аналоговые и современные цифровые обобщения // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане / Ред. В.Л. Иванов. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. С. 93-109.
8. Зуйкова О.Н., Миролюбова Е.С. Условия формирования и перспективы нефтегазоносное™ нижнепалеозойских отложений о-ва Колгуев // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Вып. 6. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2006. С. 64-75.
9. Качурина Н.В., Шкатов Е.П., Андреева И.А. Сравнительный анализ морфоструктуры «желобов» Святой Анны и Франц-Виктория // Опыт системных океанографических исследований в Арктике / Ред. А.П. Лисицын. М.: Научный мир, 2001. С. 448-452.
10. Коган Л.И., Маловицкий Я.П., Мурзин Р.Р. Глубинное строение Восточно-Баренцевской мегавадины по данным широкоугольного сейсмического профилирования // Геотектоника. 2004. № 3. С. 79-94.
11. Комарицкий В.М., Шитлов Э.В. Новые геологические данные о магматизме Баренцева моря // Доклады АН СССР. 1991. Т. 320. №5. С. 1203-1206.
12. Кораго Е.А. Реконструкции ареалов распространения магматических формаций в Баренцево-Северокарском регионе // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Вып. 5. СПб.: ВНИИОкеангеология. 2004. С. 176-187.
13. Кораго Е.А., Говердовская Т.Г., Косыко М.К., Евдокимов А.Н. Главные вехи становления и преобразования континентальной коры Российской Арктики в неогее и их корреляция с главными эпохами рудогенеза // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане / Ред. В.Л. Иванов. СПб.: ВНИИОкеангеология. 2008. С. 44-62.
14. Столбов Н.М. Архипелаг Земля Франца-Иосифа - геологический репер Баренцевоморской континентальной окраины // Автореф. дисс.... канд. геол.-мин. наук. СПб.: СПбГУ, 2005. 19 с.
15. Супруненко О.И., Устрицкий В.И., Зуйкова О.Н. Геолого-геофизическое районирование севера Баренцево-Карского шельфа по данным сейсморазведки // Геология нефти и газа. 2009. № 4. С. 17-25.
16. Тектоника Северной Евразии. М.: Наука. 1980. 220 с.
17. Устрицкий В.И. О тектонической природе Баренцево-Северокарского мегапрогиба // Проблемы нефтегазоносности Мирового океана. М.: Наука, 1989. С. 182-191.
18. Устрицкий В.И. Возраст, тектоническая природа и основные черты палеозойской истории Восточно-Баренцевского мегапрогиба // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане / Ред. В.Л. Иванов. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. С. 86-92.
19. Черных А.А. Новые данные о возрасте и происхождении Восточно-Баренцевского мегапрогиба // Тезисы 2-ой конференции молодых ученых и специалистов «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана». СПб.: ВНИИОкеангеология, 2010. С. 55-56. <http://vniio.ru/d/138199/d/youngsci2010vniio.pdf>

20. *Шутилов Э.В., Тарасов Г.А.* Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 1998. 306 с.
21. *Шутилов Э.В., Шкарубо С.И., Журавлев В.А.* Глубинное строение и тектоника зоны сочленения Восточно-Европейского кратона (Балтийский щит) и западно-арктической платформы по комплексу геолого-геофизических данных // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными. Ч. 2 / Ред. Шаров Н.В. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2008. С. 356-358.
22. *Aplonov S.* An aborted Triassic Ocean in west Siberia // *Tectonics*. 1988. Vol. 7. N. 6. P. 1103-1122.
23. *Barrere C., Ebbing J., Gernigon L.* Onshore Prolongation of Caledonian structures and basement characterization in the Western Barents Sea from geophysical modeling // *Tectonophysics*. 2009. N. 470. P. 71-88.
24. *Ivanova N.M., Sakulina T.S., Belyaev I.V., Matveev Yu.I., Roslov Yu.V.* Depth model of the Barents and Kara seas according to geophysical surveys results // *Arctic Petroleum Geology*. Geological Society, London, Memoirs. 2011. Vol. 35. P. 209-221.
25. *Jakobsson M., Macnab R., Mayer L., Anderson R. et al.* An improved bathymetric portrayal of the Arctic Ocean: Implications for ocean modeling and geological, geophysical and oceanographic analyses // *Geoph. Research Letters* 2008. V. 35 (7) :L07602. doi:10.1029/2008GL033520.
26. *Ku C.C., Sharp J.A.* Werner Deconvolution for automatic magnetic interpretation and its refinement using Marquardt's inverse modeling // *Geophysics*. 1983. V. 48 (6). P. 754-774.
27. *Werner S.* Interpretation of magnetic anomalies of sheet like bodies // *Sveriges Geol. Under. Ser. C.C, Arsbok*. 1953. No 43(6).

Chernykh A.A. **Late Vendian Paleoocean in the basement of the East-Barents Megabasin** // Geological-geophysical features of the lithosphere of the Arctic Region. S.-Pb., VNIIOkeangeologia, 2012. (Transaction of VNIIOkeangeologia. V. 223. N. 8). P. 57-64 (in Russian).

Present paper deals with the problem of origin of the East-Barents Megabasin. Although common point of view considers its formation as a result of continental rifting, fulfilled analysis of geological and geophysical data allowed concluding the phase of short-time spreading in the Megabasin. Presence of linear magnetic anomalies was confirmed in South-Barents basin and in North-Barents basin presumably. This fact together with published data concerning deep structure of the Megabasin and results of palinspastic reconstruction led to conclusion about presence of oceanic crust of the East-Barents Paleoocean in the basement of the Megabasin. Interpretation of potential fields testifies to existed previously prolongation of the Paleoocean in south-west direction from South-Barents Basin. Now it is cut by Timanian folded belt at the boundary of Russian and Barents plates. North prolongation of the Paleoocean is proposed through modern eastern part of Franz-Josef Land. It's supposed that East-Barents Paleoocean is extinct branch of the Japetus and can be considered as an "aborted" ocean. Short-time spreading took place in Late Vendian, about 580-540 Ma. Followed long-term stable diving of oceanic crust of the Paleoocean during Phanerozoic, accompanied by episodes of tectonic-magmatic activations, led to formation of the deep East-Barents Megabasin.

Fig. 4, references - 27.

Ссылка на статью:



Черных А.А. **Поздневендский палеоокеан в основании Восточно-Баренцевского мегапрогиба** // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб., ВНИИОкеангеология, 2012. (Тр. НИИОкеангеология. Т. 223. Вып. 8.). С. 57-64.