

УДК 551.24 +550.831 +550.838

**ГЛУБИННЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУР ДНА ЦЕНТРАЛЬНОГО
СЕКТОРА ЗОНЫ РАЗЛОМОВ ШЕКЛТОН (ПРОЛИВ ДРЕЙКА) ПО ДАННЫМ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Соловьёв В.Д.¹, Бахмутов В.Г.¹, Корчагин И.Н.¹, Левашов С.П.²

¹*Институт геофизики НАН Украины, E-mail: valera@igph.kiev.ua*

²*Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии,
E-mail: korchagin@karbon.com.ua*

Реферат. Рассмотрены особенности распределения глубинных (до 32 000 м) геофизических неоднородностей структур дна центральной части пролива Дрейка по материалам, полученным во время проведения экспедиций НАНЦ Украины (1997–2006 гг.). Результаты этих исследований позволяют дополнить общую геодинамическую картину формирования и эволюции региона. Получены новые данные о глубинном строении обширного сектора пролива Дрейка, которые указывают на наличие специфических особенностей распределения геофизических неоднородностей в разрезе земной коры и верхней мантии структур региона. Построены плотностные модели земной коры структур дна пролива Дрейка, из рассмотрения которых следует, что, в отличие от «нормального» разреза океанической коры, в проливе земная кора имеет более сложное строение и увеличенную мощность за счет погружения поверхности Мохоровичича под отдельными структурами дна, а также появления новых геофизических слоёв с аномальными скоростями и плотностями. Это аномальное распределение плотностных параметров может быть результатом активного воздействия региональных полей напряжений (сил сжатия), а также предполагаемых процессов океанизации значительных участков развития континентальной коры в проливе Дрейка и море Скоша. Распределение геофизических неоднородностей в структурах земной коры региона может указывать на наличие структур дна с корой переходного типа, с широким развитием ареальных плато-базальтов, эклогитизацией нижней части коры, сформированной в условиях развития процессов локального и ограниченного в пространстве рифтогенеза. Рассмотрены и обобщены данные о влиянии мантийных диапиров на развитие региональных процессов формирования и эволюции основных структур дна пролива Дрейка и западной части моря Скоша. Предполагается, что в результате продолжающегося и в настоящее время направленного на восток перемещения астеносферного потока мантийного вещества в регионе создаются дополнительные мощные усилия сжатия и расширения, определяющие особенности тектонического развития основных структур и способствующие формированию молодых рифтовых систем в условиях преобладающего регионального растяжения литосферы.

Реферат. За результатами інтерпретації геофізичних даних, отриманих під час проведення УАЕ, розглянуто нові дані про глибинну будову зони розломів Шеклтон у центральній частині протоки Дрейка. Побудовано комплексні моделі земної кори структур дна протоки Дрейка, з розгляду яких виходить, що, на відміну від «нормального розрізу» океанічної кори, у протоці земна кора має складнішу будову і збільшену потужність за рахунок занурення поверхні Мохоровичича під окремими структурами дна, а також появи нових геофізичних шарів з

аномальными швидкостями й густиною. Розподіл геофізичних неоднорідностей у структурах земної кори регіону може свідчити про наявність структур дна з корою перехідного типу, сформованою в умовах наявності локальних та обмежених у просторі процесів рифтогенезу та активного впливу полів стиснення у протоці Дрейка та західній частині моря Скоша. Розглянуто дані про можливий вплив мантійних діапїрів на розвиток регіональних процесів формування і еволюції основних структур дна протоки Дрейка і західної частини моря Скоша. В результаті переміщення астеносферного потоку мантійної речовини, який продовжується і в даний час спрямований на схід, в регіоні створюються додаткові могутні режими стиснення і розширення, які визначають особливості тектонічного розвитку основних структур і сприяють формуванню молодих рифтових систем в умовах переважаючого регіонального розтягнення літосфери.

Abstract. The Ukrainian Antarctic expeditions acquired new geophysical data along profiles across Drake Passage with the aim of its crustal structure studying. New geophysical interpretation about the earth's crust structure within the central segment of the Drake Passage and the Shackleton Fracture Zone (SFZ) is made. The new data reveal the asymmetrical deep crustal structure of the area of intersection between the Shackleton Fracture Zone and the West Scotia Ridge. The results of 2D density modeling show that the SFZ is characterized by thickened oceanic crust. This zone is bordered by local areas of crustal thinning within some kilometers. The anomalous distributing of density and electrical parameters and the crustal thickening may be the result of possible deep crustal transformation of areas with the former continental crust in the Drake Passage and the West Scotia Sea or the result of expression of the regional compressional stress field.

Key words: geophysical data, crustal inhomogeneities, 2D gravity modeling, Drake Passage structures

1. Введение

Исследованиям геологии и геофизики пролива Дрейка и моря Скоша (рис. 1) в последние годы уделялось много внимания, поскольку они играют ключевую роль в понимании этапов геодинамического развития обширного региона, расположенного между материками Южной Америки и Антарктиды.

Накоплен огромный фактический материал по глубинному строению основных структур дна этого региона, предложены схемы тектонического строения и эволюции [De Wit, 1977, Рябухин и др., 1988, Шеменда и др., 1986, Barker et al, 1991, Maldonado et al, 2000, Удинцев и др., 2004, Levashov et al, 2007, Schenke et al, 2009, Yegorova et al, 2009].

В наибольшей степени прогресс в получении новых материалов относится к осадочному покрову и породам верхней части коры, детально изученным за последние годы. Во многих районах геологическая интерпретация геофизических материалов существенно затруднена из-за наличия единичных данных океанского бурения, проведенного на небольшие глубины, и ограниченных сведений о геологии фундамента пролива Дрейка.

Данных о пространственном распределении раздела Мохо значительно меньше. Полученные значения мощности земной коры для отдельных структур сильно различаются, поэтому привлечение новых независимых данных о локальных неоднородностях отдельных блоков земной коры и влияния тектонических факторов на формирование неоднородной по мощности осадочной толщи имеет большое значение для комплексного анализа данных о строении земной коры пролива Дрейка.

Ниже будут рассмотрены особенности распределения глубинных (до 32 000 м) геофизических неоднородностей структур дна центральной части пролива Дрейка по материалам, полученным во время проведения экспедиций НАНЦ Украины (1997–2006 гг.).

Результаты этих исследований позволяют дополнить общую геодинамическую картину формирования и эволюции региона (Levashov, 2007).

Общепринято, что процессы тектонической эволюции структур дна Южной Атлантики, пролива Дрейка и прилегающего к нему Тихоокеанского сектора во многом определяются особенностями взаимодействия Южно-Американской и Антарктической плит. Основные этапы развития рифтовых систем пролива Дрейка и особенности формирования сдвиго-надвиговой или сдвига-раздвиговой структуры зоны разломов Шеклтон (ЗРШ) в кайнозойское время ранее были детально рассмотрены в ряде публикаций (Maldonado et al, 2000, Flores-Marques et al, 2000, Jin et al, 2007).

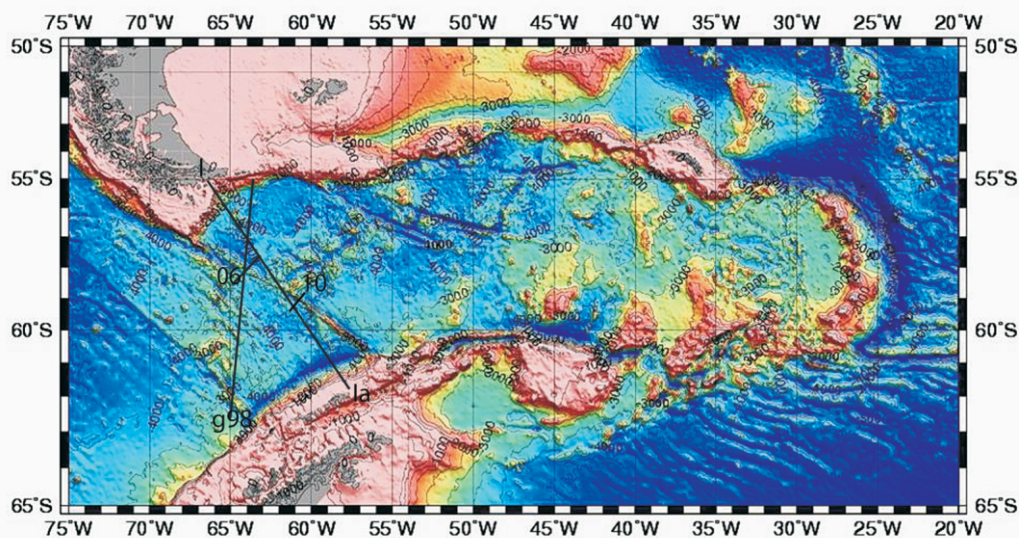


Рис. 1. Рельеф дна пролива Дрейка и моря Скоша по данным GEBCO-2003. Показано положение профилей гравиметровой (g98) съёмки, ВЭРЗ (I-Ia), сейсмопрофилирования (06, 10) по материалам (Galindo-Zaldivar et al, 2000, Удинцев и др., 2004, Levashov et al, 2007).

2. Геофизические исследования ЗРШ

Зона разломов Шеклтон (ЗРШ) – это протяженная (до 1000 км) структура, состоящая из нескольких субпараллельных линейных нарушений и соединяющая в проливе Дрейка южное окончание Чилийского желоба на материковой окраине Южной Америки и Южно-Шетландский желоб на континентальной окраине Антарктического полуострова. В самой северной своей части, в районе Огненной Земли, разломная структура выходит на поверхность, образуя острова Диего-Рамирес. Необходимо отметить, что на всем протяжении ЗРШ характеризуется значительной изменчивостью подводного рельефа и геофизических характеристик.

ЗРШ, начиная с олигоцена (30 млн. лет), формируется в проливе Дрейка как структурная граница между Антарктической плитой и плитой Скоша, возникшая в результате воздействия региональных тектонических напряжений. Она выражена в рельефе дна протяжённым контрастным хребтом (СЗ-ЮВ простираения) высотой 2500–3000 м, с превышением до 2000 м над прилегающими котловинами – субпараллельными разломными ущельями с глубинами дна до 4500 м на юго-западном и северо-восточном склонах хребта. Образование этих грабенов могло происходить на ранних этапах формирования структуры ЗРШ в преобладающих условиях растяжения коры пролива с заложением сети локальных разломов, выявленных по

данным сейсмических исследований. Часть разломов, ограничивающих грабены, достигает раздела Мохо (Maldonado et al, 2000).

В результате растяжения коры пролива произошло образование серии разломов и трещин растяжения, в том числе крупной зоны разломов Шеклтон и параллельных ей разломов пролива Дрейка и западной части моря Скоша. Здесь под воздействием региональных, часто разнонаправленных деформаций ранее уже были сформированы основные морфоструктуры пролива, включая обширные группы структурных элементов с корой континентального и переходного типа. Предполагается, что в интервале времени от 30 до 25 млн. лет в результате раздвижения литосферных плит были разрушены континентальные мосты в проливе Дрейка и в море Скоша, а погружения в проливе Дрейка с начала олигоцена привели к возникновению Антарктического циркумполярного течения (Barker et al, 1991).

Остановимся более подробно на результатах изучения области сочленения ЗРШ и Западного хребта Скоша, расположенной в центральной части пролива Дрейка (рис. 2А).

По результатам сейсмических исследований ЗРШ в своей центральной части характеризуется повышенными значениями мощности земной коры океанического типа. В структуре коры (рис. 2Б) отчётливо выделяются деформации в виде отдельных локальных разломов различного вида, а также характерные участки с утоненной корой, которые ограничивают с двух сторон области утолщения коры (Maldonado et al, 2000).

Возможно, разломы на склонах хребта имеют тектоническое происхождение и отражают определённые этапы эволюции океанической коры ЗРШ как буфера длительных и разнонаправленных подвижек двух смежных океанических плит.

В разрезе коры здесь выделяется прерывистый и маломощный слой субгоризонтальных осадков, лежащий на породах океанического слоя 2 (мощностью до 1,5–2,0 км) – экструзивах в верхней части и диабазовых дайках в нижней части слоя. Ниже выделяется утолщённый слой 3, представленный, по всей видимости, породами габбро.

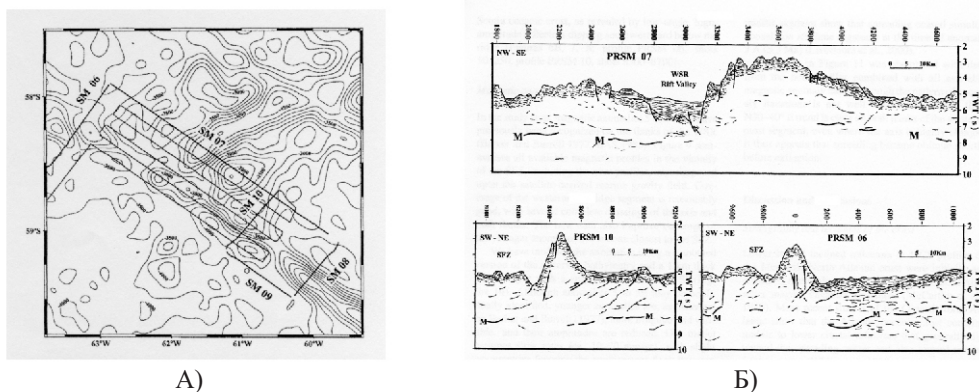


Рис. 2. Схема расположения профилей (А) и результаты сейсмопрофилирования вдоль профилей (Б) через ЗРШ и Западный хребет Скоша по сейсмическим данным (Maldonado et al, 2000).

Сейсмическая граница между этими слоями не везде определяется точно так же, как и положение подошвы слоя 3. Это не позволяет уверенно и повсеместно фиксировать мощность коры, хотя в отдельных местах наблюдаются высокоамплитудные, протяженные и субгоризонтальные отражения от раздела Мохо. По мнению авторов (Maldonado et al, 2000), его глубина со стороны плиты Скоша превышает глубину раздела Мохо структур Антарктической плиты, подтверждая воздействие разнонаправленных региональных напряжений, в том числе длительного режима сжатия, вдоль ЗРШ. Следует отметить, что на некоторых записях зафиксированы отражения от горизонтов, лежащих значительно глубже

выделенного раздела Мохо и, по мнению авторов, относящихся к неоднородностям верхней мантии. Не исключено, что важные структурные границы этой области располагаются глубже границы, принимаемой за раздел Мохо, и не были зафиксированы по результатам проведенных сейсмических исследований.

Важную роль в понимание истории формирования и развития этого региона с точки зрения плитовой тектоники сыграли и обобщенные данные о распределении изохрон линейных магнитных аномалий в проливе Дрейка. По результатам магнитного моделирования южнее Огненной Земли картируются линейные магнитные аномалии С9 и С10, что предполагает наличие коры океанического типа возрастом более 29 млн. лет. В верхней части земной коры зоны перехода континент-океан зафиксированы участки с нарушенной структурой разломного характера. На части профилей корреляция и выделение линейных магнитных аномалий затруднены из-за наличия anomalно приподнятых участков с корой континентального или промежуточного типа (Удинцев и др., 2004).

Геофизические исследования структур дна пролива Дрейка и окраин Антарктического полуострова выполнялись при содействии Национального антарктического научного центра Украины методами эхолотирования, вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) и гравимагнитной съёмки (Levashov et al, 2006, 2007).

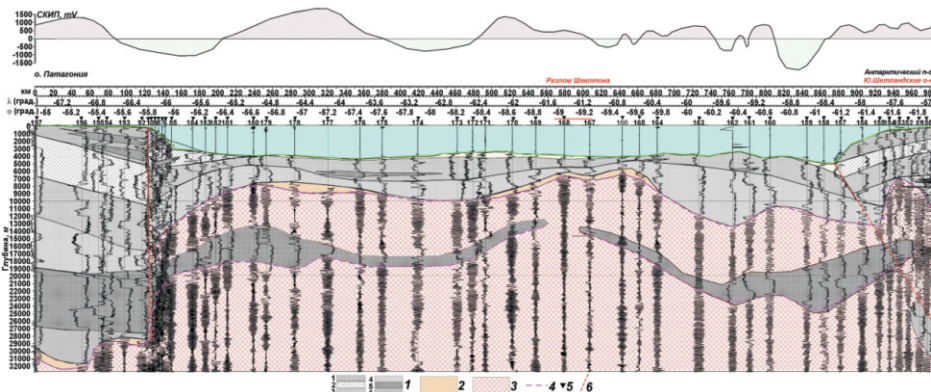


Рис. 3. Геоэлектрический разрез вдоль профиля 1 через пролив Дрейка по данным СКИП и ВЭРЗ. 1 – комплекс эффузивных и кристаллических пород; 2 – породы переходного слоя «кора-мантия»; 3 – породы верхней мантии; 4 – граница Мохо; 5 – пункты ВЭРЗ; 6 – тектонические нарушения.

Особый интерес проведенные исследования могут иметь для оценки возможных механизмов формирования и эволюции тектонических структур данного региона, поскольку взгляды на процессы их геодинамического развития существенно различны.

Как уже отмечалось, глубинность исследований методом ВЭРЗ достигала 32 км (работы 2006 г.), что позволило выделить крупные неоднородности глубинных зон земной коры региона. Особый интерес представляют результаты исследований глубинного строения переходных зон и материковых окраин Южной Америки и Антарктиды, т.к. глубинные сейсмические исследования этих зон проводились в небольшом количестве. Приведенные данные ВЭРЗ свидетельствуют о существовании крупной субвертикальной дислокации вблизи Огненной Земли, фиксирующей переход от Южной Америки к котловине пролива Дрейка (рис. 3). Сложный характер распределения параметров разломной зоны не позволяет определить её характеристики и направление преобладавших движений по разлому. Данные ВЭРЗ не подтверждают наличия в разрезе коры признаков отчётливо выраженной субдукции ложа пролива Дрейка под континентальную окраину Южно-Шетландских островов, указывая на значительную роль вертикальных движений в образовании Южно-Шетландского жёлоба.

Привлечение и совместный анализ данных других геофизических методов для основных структур дна пролива Дрейка позволит в дальнейшем более уверенно интерпретировать материалы глубинных исследований методом ВЭРЗ, т.к. проведенные работы были первым опытом осуществления глубинных зондирований в этом регионе.

По результатам гравиметрических съомок над зоной разломов Шеклтон выделены аномалии (Δg с.в.), достигающие положительных значений от 40–60 мГал до 120–130 мГал над вершиной хребта и отрицательных (до –10 мГал) над трогом ЗРШ. Указанные значения аномалий значительно изменяются над разными сегментами зоны разломов в соответствии с особенностями её подводного рельефа (Maldonado et al, 2000).

В глубинных разрезах ЗРШ, построенных по данным сейсмо-плотностного моделирования, предполагалось наличие в верхней части коры пород с плотностью 2.45 г/см³ (серпентинитов), связанных с существованием многочисленных разломов, зон контрастных полей напряжений и участков возможной серпентинизации мантийных пород в этом районе. Многие исследователи отмечают черты сходства в морфологии и глубинном строении ЗРШ и разломных зон Экваториальной Атлантики, где образование протяженного хребта зоны разломов (Вима) связывается с наличием относительных горизонтальных движений на границе плит и результирующих вертикальных коровых поднятий, возникших в условиях вариаций направлений спрединга смежных плит (Maldonado et al, 2000).

Как известно, диапировые интрузии серпентинитов встречены во многих зонах трансформных разломов Мирового океана, поэтому и в данном районе присутствие серпентинитов вполне вероятно, хотя масштабы их развития остаются неопределенными.

В более поздних моделях, построенных для центральной части зоны разломов Шеклтон, существенная разность плотностей для пород хребта (2.92 г/см³) и океанических пород смежных структур дна (2.95 г/см³) отсутствует (рис. 4), а расчётная средняя глубина раздела Мохо в центральной части пролива Дрейка варьирует от 7 до 12 км. Следует отметить, что на приведенных сейсмических разрезах (рис. 2) выделение раздела Мохо не было уверенным, почти везде положение этой границы сопровождается знаком вопроса, поскольку отчетливые протяженные границы или отсутствуют, или представляют собой короткие участки отражений, расположенные на различной глубине.

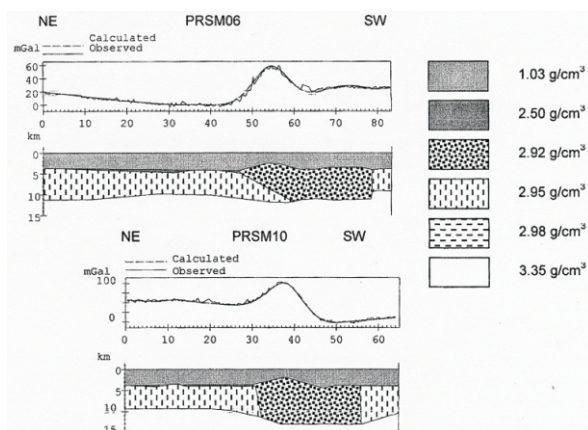


Рис. 4. Плотностные модели структур дна центральной части пролива Дрейка в области пересечения ЗРШ и хребта Западный Скоша, по (Maldonado et al, 2000). Положение профилей показано на рис. 1.

Представляется, что сейсмические материалы, приведенные теми же авторами (Maldonado et al, 2007), дают более надежное положение поверхности Моховичича для структур пролива Дрейка.

Определение положения раздела кора-мантия имеет особое значение для тех локальных участков вблизи зоны пересечения, где влияние процессов спрединга в осевой части Западного хребта Скоша, определявших вариации (от 7-8 км до 11-12 км) глубинного положения раздела Мохо, проявлялось в наибольшей степени. Построенные модельные разрезы разных сегментов ЗРШ показывают наличие существенных, по сравнению со стандартным океаническим разрезом, утолщений земной коры на 3–5 км. Повышенные значения глубин залегания Мохо (14–16 км) характерны для структур дна значительной части моря Скоша (рис. 5), а также Фолклендского плато вплоть до Аргентинской котловины (Новые идеи в океанологии, 2004). Вероятно, в зонах тектонической активности формируются локальные поля напряжений, способные изменить внутреннюю структуру океанической коры за счёт разной реакции на приложенные усилия и перераспределение прочностных характеристик её глубинных горизонтов.

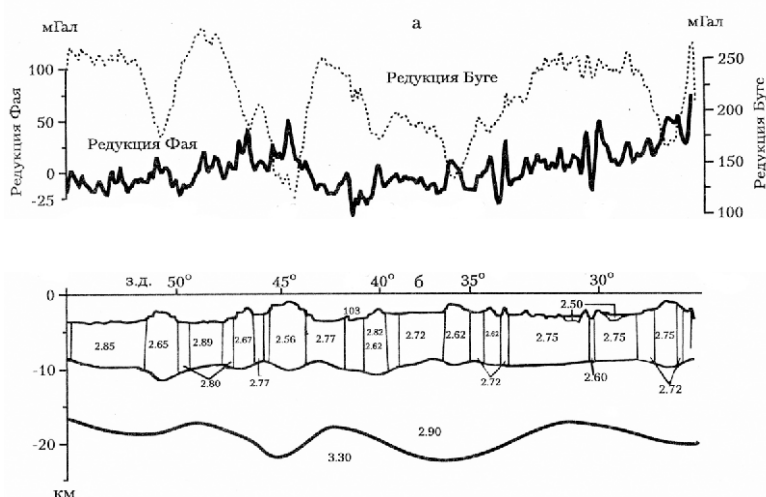


Рис. 5. Аномалии силы тяжести (а) и плотностная модель земной коры (б) по профилю вдоль параллели 59° ю.ш. в южной части моря Скоша (Удинцев и др., 2004).

3. Плотностное моделирование структуры коры ЗРШ

При выборе параметров плотностного разреза и определении основных границ раздела в земной коре для структур коры пролива Дрейка мы использовали материалы сейсмических исследований, результаты ВЭРЗ, а также данные о плотностях пород в районе УАС Академик Вернадский. Все расчёты плотностных моделей выполнены Н.В. Панченко по программам И.Н. Корчагина.

Для расчетов применялась методика, использовавшаяся ранее при изучении коры и верхней мантии структур океанического типа (Русаков, 1991). Её особенность состоит в том, что в результате расчёта получается суммарный эффект плотностного разреза, соотносимый с эффектом нормированного плотностного разреза океанической котловины определенного возраста (40 млн. лет).

На рис. 6 показаны примеры построения плотностных моделей через ЗРШ, построенные по сейсмическим данным (рис. 6 А), а также с учётом результатов ВЭРЗ по профилю I-Ia (рис. 6 Б). Гравитационное поле в редукции Фая (Δg с.в.), полученное в рейсе НИС «Эрнст Кренкель» (профиль g98), и расчётный плотностный эффект моделей коры совмещаются на нормированном уровне, что даёт дополнительные данные о возможном времени

формирования океанической коры в этом районе. Основное отличие этих вариантов моделей состоит в разной их глубинности и количестве расчётных горизонтов (3 и 6). Если в первой модели разрез представлен океанической корой с глубиной Мохо до 10,0–11,7 км, то во второй модели для расчёта использовались параметры дополнительных, более глубоких горизонтов, расположенных ниже раздела Мохо, показанного на рис. 6 А.

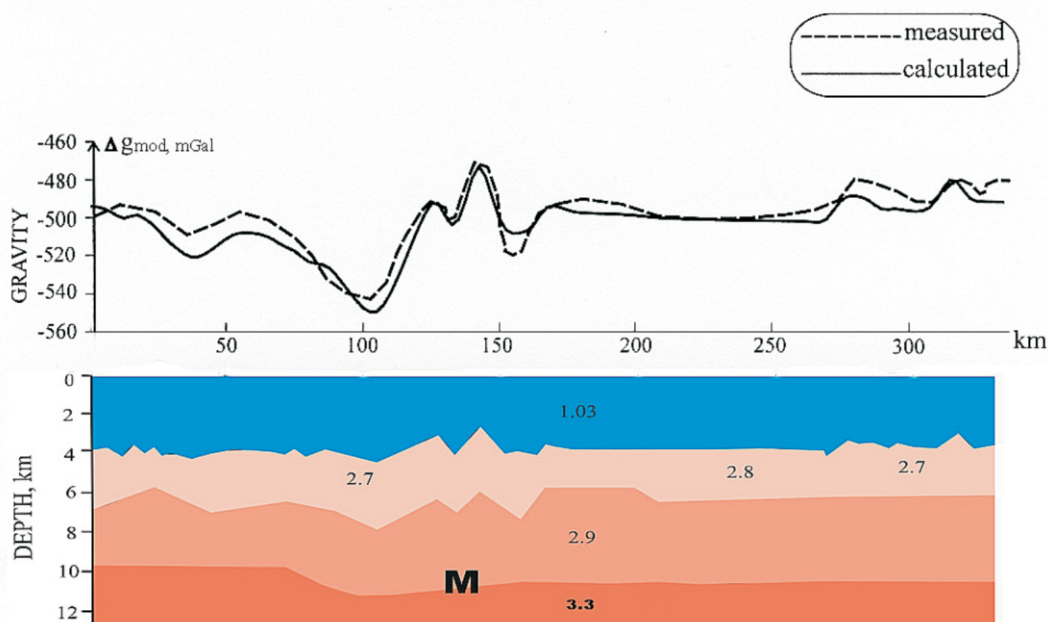
Глубина каждого из этих горизонтов и относительные вариации плотности определялись по данным ВЭРЗ, показавшим наличие протяжённого дополнительного горизонта мощностью от 5 км (вблизи континента Южной Америки) до 2 км (в центральной части пролива Дрейка). Этот горизонт полностью отсутствует под локальной рифтовой долиной Западного хребта Скоша. На значительной части профиля данные ВЭРЗ указывают на наличие пород с увеличенным сопротивлением по отношению к вышележащему слою. Отсюда можно предполагать наличие высокоскоростного (и соответственно более плотного) горизонта на глубинах 16–19 км, расположенного либо в верхах мантии, либо над разделом Мохо, лежащим значительно глубже, чем это показано на рис. 4 и 6 А.

Вопрос о генезисе этого достаточно мощного горизонта, фиксирующего наличие геофизических неоднородностей на глубине 12–24 км, остаётся достаточно дискуссионным, хотя гипотезу о формировании двух разделов Мохо в проливе Дрейка не следует сразу отбрасывать. Основанием для этого могут служить расчёты, предполагающие, что на глубине 10–14 км от уровня дна может располагаться отчётливая граница Мохо-2, возникающая в результате базификации земной коры континентального типа (Ипатенко, 2007).

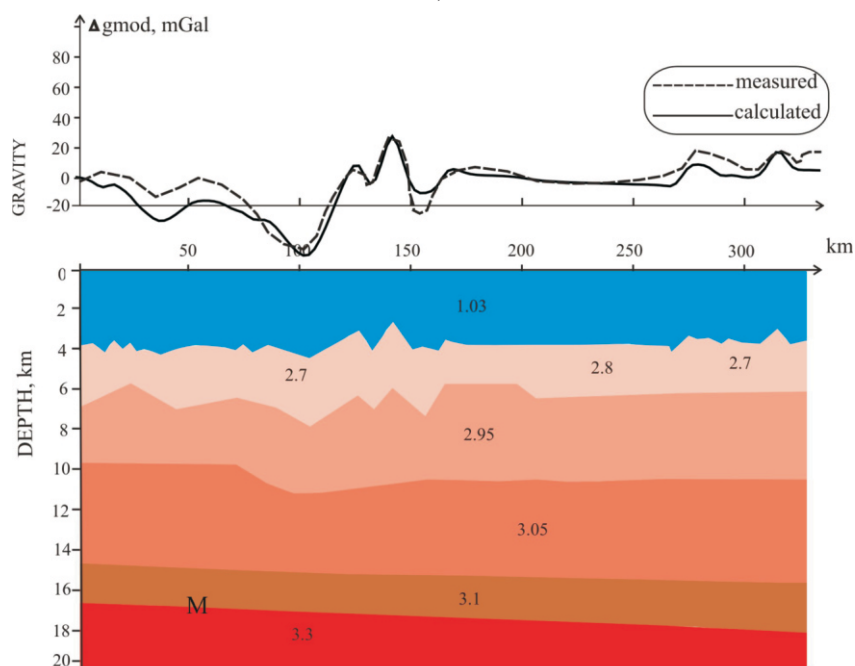
Возможно, протяжённый горизонт, выявленный по данным ВЭРЗ в проливе Дрейка, отражает существование на этих глубинах крупных неоднородностей, связанных с процессами преобразования более древней коры.

Следует подчеркнуть, что все результаты плотностного моделирования, полученные с применением разных методик не только способов расчёта, но и выделения влияния более глубоких мантийных эффектов, а также с разными принятыми значениями плотности мантии, указывают на увеличенную плотность основных слоёв океанической коры (рис. 4–6). Если принять, что раздел Мохо расположен на глубинах более 15 км (рис. 6 Б), то и в этом случае в самой нижней части коры можно предполагать наличие anomalно плотных пород. На рис. 6 Б приведен пример расчёта одного из возможных распределений плотностей в глубинном разрезе, удовлетворяющий исходному полю, хотя вариации anomalных плотностей в нижней части коры могут носить иной характер. Понятно, что при отсутствии дополнительных данных о разрезе требуемый эффект может быть обеспечен изменениями параметров горизонтов коры и плотности мантийного вещества. Отметим, что используемые разными авторами значения плотности мантии (от 3.2 до 3.35 г/см³) при построении глубинных разрезов в этом регионе значительно различаются (Maldonado et al, 2000, Грушинский и др., 2002, 2007, Булычёв и др., 2009).

Положение отдельных горизонтов разреза коры по данным ВЭРЗ может указывать на то, что данный регион мог испытывать подъём в своей центральной части (область пересечения Западного хребта Скоша и ЗРШ). Возможным его источником мог быть поток глубинного вещества, а последующее масштабное погружение обширной территории современного пролива Дрейка до глубин 3,5–4,0 км с начала олигоцена могло быть результатом прекращения активного воздействия этого астеносферного потока мантийного вещества. Именно тогда могли формироваться системы линейных магнитных аномалий, фиксировавшие во времени длительные процессы образования и эволюции обширной вулканической провинции на месте пролива Дрейка. Возраст этих датированных аномалий не превышает 30 млн. лет, а более поздний рифтогенез характерен для тех участков, где процессы преобразования коры, включая локальный спрединг, продолжались до недавнего прошлого. Кроме того, в магнитном поле недавнего прошлого находят своё отражение особенности геодинамического режима различных сегментов пролива, а также процессы формирования современной рифтовой системы в море Скоша и проливе Дрейка (Удинцев и др., 2004).



А)



Б)

Рис. 6. Расчётные эффекты и плотностные модели земной коры структур дна центральной части пролива Дрейка. Цифры – принятые плотности. А – положение границ дано по сейсмическим данным (Maldonado et al, 2000); Б – границы в коре (?) с учётом результатов ВЭРЗ (Levashov et al, 2006, 2007).

Как известно, образование пассивных окраин континентов невозможно без быстрого изостатического погружения литосферы на глубину 2,5 км и более. Величина погружения определяется интенсивностью процессов эклогитизации, а также степенью воздействия вещества аномальной мантии (Удинцев и др., 2004). Следует отметить, что процессы быстрого погружения крупных территорий на глубину 4.0–5.0 км не являются уникальным событием в геологической истории. Так, современная глубоководная впадина Чёрного моря образовалась в результате интенсивного прогибания на глубину около 4.0 км, начиная с конца миоцена. Характерно, что сразу под осадками здесь, а также в других впадинах, испытавших быстрое опускание примерно в то же время, залегают породы повышенной плотности.

Важная роль в формировании структуры коры пролива принадлежит процессам астеносферного (рассеянного) рифтогенеза, охватывающим значительные участки пролива Дрейка и западной части моря Скоша, где рифтогенные морфоструктуры выражены достаточно отчетливо в форме рифтовых хребтов и трансформных разломов. Поэтому вполне вероятно, что в результате продолжающегося и в настоящее время направленного на восток перемещения астеносферного потока мантийного вещества в регионе создаются дополнительные мощные усилия сжатия и расширения, определяющие особенности тектонического развития основных структур и способствующие формированию молодых рифтовых систем в условиях преобладающего регионального растяжения литосферы. Основную роль при этом играют мантийные диапиры, в значительной мере контролируемые процессы локального рифтообразования, а также возможной океанизации участков развития континентальной коры в море Скоша (Удинцев и др., 2004).

Следует отметить, что звенья срединного Западного хребта Скоша в проливе Дрейка (Jin, 2007) имеют локальное распространение и, вероятно, не могут быть единственным источником формирования коры океанического типа всей акватории пролива, ширина которого превышает 1000 км.

4. Влияние плюма на формирование структур дна пролива Дрейка

Существует ряд публикаций, посвящённых оценке глубинных преобразований и процессов формирования основных структур региона, обусловленных в том числе и воздействием мощного потока глубинного вещества, направленного со стороны Тихого океана на восток под дном моря Скоша к задуговому бассейну Южно-Сандвичевой островной дуги (Шеменда и др., 1986, Грушинский и др., 2007).

Как показано в (Грушинский и др., 2007), положительная аномалия длинноволновой компоненты поля высот геоида (10-12 гармоника), расположенная в море Скоша, вероятно, обусловлена мощным восходящим потоком разогретого вещества из нижней мантии, один из локальных центров которой приходится на ЗРШ и западную часть моря Скоша. Авторы предполагают, что мантийный плюм, существующий сейчас под тройным сочленением Буве в Атлантическом океане, мог ранее располагаться под западной частью моря Скоша, откуда он мигрировал на протяжении последних 65 млн. лет. Распределение аномалий геоида в этом районе (рис. 7) может свидетельствовать о преобладающем протекании интенсивных процессов в литосфере, а не в более глубинных зонах (Грушинский и др., 2007).

В море Скоша расположен и максимум гравитационной аномалии (гармоники 6-го порядка), обусловленный воздействием потока мантийного вещества в астеносферном слое, оказывающем большое влияние на формирование глубинной структуры и современной геодинамики всего региона от Южной Америки до Антарктиды (Шеменда и др., 1986). Предполагается, что в результате продолжающегося и в настоящее время направленного на восток перемещения астеносферного потока мантийного вещества (рис. 8, А, Б) в регионе создаются дополнительные мощные усилия сжатия и расширения, определяющие

особенности тектонического развития основных структур и способствующие формированию молодых рифтовых систем в условиях преобладающего регионального растяжения литосферы.

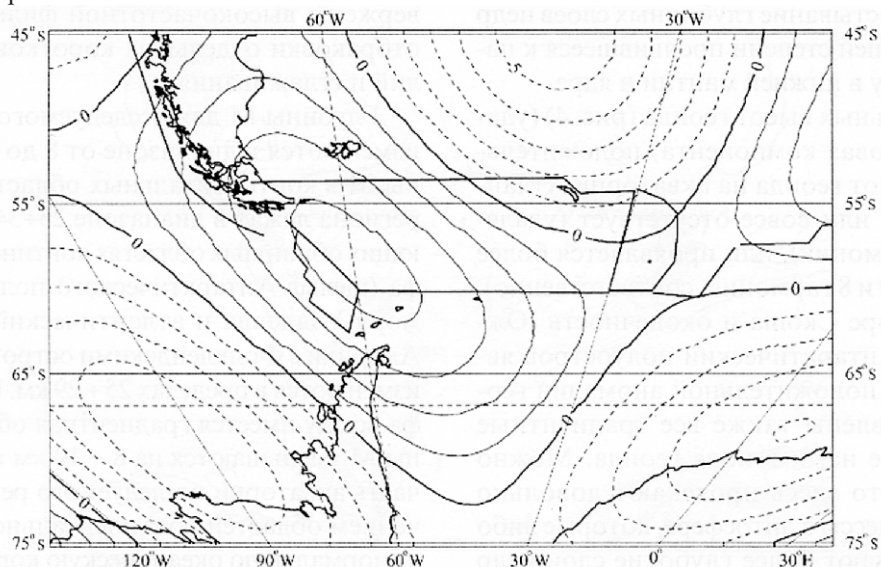


Рис. 7. Положение изолиний длинноволновой компоненты высот геоида (гармоники 10-12) к юго-востоку от Южной Америки, по (Грушинский и др., 2007).

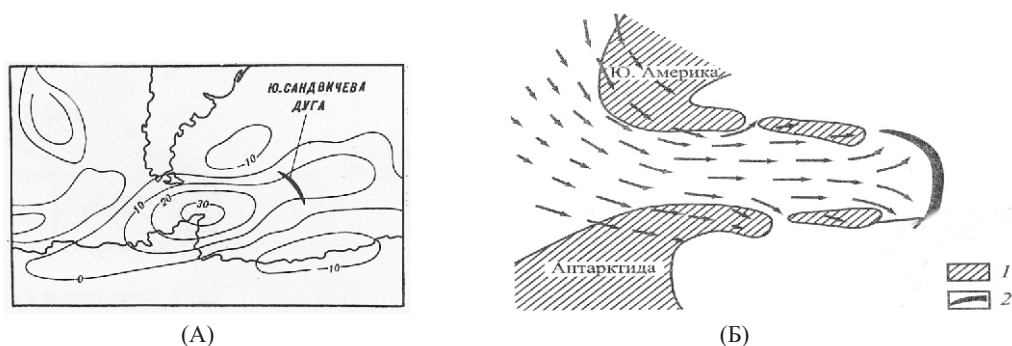


Рис. 8. Мантийные гравитационные аномалии (А) и схема течений (Б) в астеносфере пролива Дрейка и моря Скоша, по (Шеменда и др., 1986). 1 – континентальная литосфера; 2 – Южно-Сандвичев жёлоб. Изолинии аномалий даны в мГал.

На глубинном разрезе по параллели 58°ю.ш. через пролив Дрейка, построенном с использованием глобальной гравитационной модели геоида, отражено наличие плотностных неоднородностей (относительно нормального распределения глобальной модели PREM (Греку и др., 2009)). В области пролива Дрейка отмечено чередование участков с нормальной и повышенной плотностью вещества коры и мантии в пределах рассмотренных глубин (до 100 км). На глубине 100 км в районе исследований выделяется зона пониженных скоростей, пространственно совпадающая с областью пролива Дрейка и указывающая на возможное существование аномальных глубинных источников, влияющих на развитие геодинамических процессов в регионе (Yegorova et al., 2009).

Как следует из приведенных результатов, в обширном регионе, включающем пролив Дрейка и западную часть моря Скоша, материалы геофизических исследований свидетельствуют о длительном направленном воздействии глубинных потоков на его формирование и эволюцию, хотя глубинность воздействующих факторов и степень влияния мантийного вещества на современные процессы геодинамического развития не могут быть определены однозначно.

В контексте тектоники литосферных плит формирование и основные этапы развития этой обширной области тесно связаны с эволюцией крупных литосферных плит юго-западной Гондваны и юго-восточной части Тихого океана, начиная со среднего мезозоя, когда на месте моря Скоша существовала континентальная кора. Утонение континентальной коры и раскрытие пролива Дрейка связывается с относительным горизонтальным перемещением Южной Америки и Антарктиды с амплитудой до 550 км к началу олигоцена (Рябухин и др., 1988).

Однако выполненные исследования рельефа дна и другие геофизические исследования, в сочетании со сбором геологических образцов, привели авторов (Удинцев и др., 2004, Schenke et al, 2009) к гипотезе о существовании в этой области обширного пояса реликтов континентального моста – палео-Земли Дрейка-Скоша. Эти крупные фрагменты структур Андийской и вне-Андийской Патагонии испытали дробление и базификацию в условиях умеренного растяжения литосферы между Западной Антарктидой и Южной Америкой, отмечаемого сейчас по данным геокинематического мониторинга, а также локальный рифтогенез, стимулированный обширным мантийным плюмом. Такие фрагменты континентального моста были отделены от своего материнского кратона в процессе длительного растяжения и испытали в верхнем мелу-начале кайнозоя погружения до современных глубин пролива Дрейка и котловины моря Скоша (Удинцев и др., 2004, Schenke et al, 2009). Следует отметить, что наличие отдельных реликтов континентального моста, оставшихся в проливе Дрейка после его разрушения в результате крупномасштабных горизонтальных смещений континентальных плит и дальнейшего рифтогенеза, зафиксированного системами линейных магнитных аномалий, предполагалось и ранее (De Wit, 1977, Barker et al., 1991).

Вероятно, лишь материалы глубинного океанического бурения смогут помочь определить главные черты формирования и эволюции этого региона.

5. Выводы

1. Получены новые данные о глубинном строении обширного сегмента пролива Дрейка. Распределение геофизических неоднородностей в структурах земной коры региона может указывать на наличие структур дна с корой переходного типа, сформированной в условиях локального и ограниченного в пространстве океанического спрединга.

2. Рассмотрены и обобщены данные о возможном влиянии мантийных диапиров на развитие региональных процессов формирования и эволюции основных структур дна пролива Дрейка и западной части моря Скоша. Предполагается, что в результате продолжающегося и в настоящее время направленного на восток перемещения астеносферного потока мантийного вещества в регионе создаются дополнительные мощные усилия сжатия и расширения, определяющие особенности тектонического развития основных структур и способствующие формированию молодых рифтовых систем в условиях преобладающего регионального растяжения литосферы.

Литература

Булычѳв А.А., Гилод Д.А. Двумерное гравитационное моделирование тектоносферы акватории Американо-Антарктического хребта // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. – N5. – С. 36–48.

Греку Р.Х., П.Ф.Гожик, В.А.Литвинов, В.П.Усенко, Т.Р.Греку. Атлас глубинного строения Антарктики по данным гравиметрической томографии. – Киев, 2009. – 67 с.

Грушинский А.Н., Строев П.А., Корякин Е.Д. Плотностная модель земной коры Антарктиды и ее вклад в аномальное гравитационное поле // Геофизический журнал. – 2002. – Т. 24. – N5. – С. 25–35.

Грушинский А.Н., Корякин Е.Д. Толщина земной коры, нарушение изостазии и тектоническая эволюция моря Скоша, Западная Антарктика // Геофизика XXI столетия: 2006 год. Сб. трудов Восьмых геофизических чтений им. В.В. Федьнского (2–4 марта 2006 г., Москва). – Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2007. – С. 72–81.

Ипатенко С.П. Особенности строения земной коры океанического типа по данным ГСЗ, гравиметрии и теории изостазии // Геофизика XXI столетия: 2006 год. Сб. трудов Восьмых геофизических чтений им. В.В. Федьнского (2–4 марта 2006 г., Москва). – Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2007. – С. 57–58.

Рябухин А.Г., Зоненшайн Л.П., Хаин В.Е. Эволюция Южно-Антийского региона в контексте тектоники литосферных плит // Геотектоника. – 1988. – N4. – С. 103–115.

Новые идеи в океанологии / Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. – М.: Наука. – Т. 2: Геология / Отв. ред. М.Е. Виноградов, С.С. Лаппо. – 2004. – 407 с.

Русаков О.М. Гравитационная модель тектоносферы Индийского океана. – Киев: Наук. думка, 1991. – 228 с.

Удинцев Г.Б., Шенке Г.В. Очерки геодинамики Западной Антарктики. – Москва: ГЕОС, 2004. – 132 с.

Шеменда А.И., Грохольский А.Л. Геодинамика Южно-Антийского региона // Геотектоника. – 1986. – N1. – С. 84–95.

Barker P.F., Dalziel W.D., Storey B.C. Tectonic development of the Scotia Arc region // The Geology of Antarctica. Oxford. 1991. P. 215–248.

De Wit, M. J. The evolution of the Scotia Arc as a key to the reconstruction of southwestern Gondwanaland // Tectonophysics. – 1977. – V. 37. – P. 53–81.

Flores-Marques E.L., Surinach E., Galindo-Zaldivar J. and Maldonado A. Three-dimensional gravity inversion model of the deep crustal structure of the central Drake Passage (Shackleton Fracture Zone and West Scotia Ridge, Antarctica) // J. Geophys. Res., 108 (B9), 2445, doi: 10.1029/2002JB001934, 2003.

Galindo-Zaldivar J., Jabaloy A., Maldonado A., Martinez-Martinez J.M. et al. Deep crustal structure of the area of intersection between the Shackleton Fracture Zone and the West Scotia Ridge (Drake Passage, Antarctica) // Tectonophysics. – 2000. – V. 320. – P. 123–139.

Jin Y.K., Kim K.J., Hong J.K. et al. Geophysical investigations of P3 segment of the Phoenix Ridge in Drake Passage, Antarctica, in Antarctica: A Keystone in a Changing World. – Online Proceedings of the 10th ISAES X, edited by A. K. Cooper and C. R. Raymond et al., USGS Open-File Report 2007-1047, Extended Abstract 110, 4 p.

Levashov S.P., Bakhmutov V.G., Korchagin I.N., Pischaniy Yu.M., Yakymchuk N.A. Geoelectric investigations during the seasonal work of 11-th Ukrainian Antarctic expedition // Geoinformatika. – 2006. – N2. – P. 24–33 (in Russian).

Levashov, S.P. et al. Drake Passage and Bransfield Strait – new geophysical data and modelling of the crustal structure, in Antarctica: A Keystone in a Changing World. – Online Proceedings of the 10th ISAES X, edited by A.K. Cooper and C.R. Raymond et al., USGS Open-File Report 2007-1047, Extended Abstract, 4 p.

В.Д. Соловьёв. ГЛУБИННЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУР ДНА ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ЗОНЫ...

Maldonado A., Balanya J.C., Barnolas A., Galindo-Zaldivar J. et al. Tectonics of an extinct ridge-transform intersection, Drake Passage (Antarctica) // *Mar. Geophys. Res.*, 21, P. 43–68, 2000.

Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J. et al. Early opening of Drake Passage: regional seismic stratigraphy and paleoceanographic implications, in Antarctica: A Keystone in a Changing World. – Online Proceedings of the 10th ISAES X, edited by A.K. Cooper and C.R. Raymond et al., USGS Open-File Report 2007–1047, Extended Abstract 057, 4 p.

Schenke H.W., Udintsev G.B. The Central Scotia sea-floor – is it an paleo-oceanic plate, an young rifted plate or an paleo-land Scotia? // *Ukrainian Antarctic Journal*, 8, P. 36–45, 2009.

Yegorova T., Bakhmutov V., Gobarenko V., Lyashchuk A. New insight into the deep structure of Antarctic Peninsula continental margin by methods of 2-D Gravity / Magnetic modeling and 3-D seismic tomography. // *Ukrainian Antarctic Journal*, 8, P. 46–66, 2009.