

УДК 550.837:551.14

МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДНА ЗАПАДНОЙ АНТАРКТИКИ

Соловьёв В. Д.

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАНУ, Киев, E-mail: valera @ igph.kiev.ua

Реферат. Моделирование локальных магнитных аномалий над вулканическими структурами свидетельствует о коровом размещении их источников на глубинах до 8–12 км. Локальный, без региональной составляющей, характер исследованных аномалий магнитного поля объясняется особенностями термодинамического режима, скоростью кристаллизации горных пород и, возможно, отсутствием значительных вторичных изменений глубинных горизонтов. Закартованное существенное сокращение мощности земной коры в районах локального расположения подводных вулканов пролива Брансфилда подтверждает наличие в литосфере благоприятных условий для формирования в процессе рифтообразования зон промежуточной кристаллизации глубинного вещества. Неоднородности земной коры структур о. Десеппшн могут свидетельствовать о существовании магматической камеры с частично расплавленным веществом на глубине 1,5–6,5 км. Анализ геофизических материалов показывает, что для о. Десеппшн мозаичное распределение аномалий скорости в земной коре в значительной мере совпадает с наличием неоднородности разреза по геоэлектрическим данным.

Реферат. Магнітні аномалії і глибинна будова вулканічних структур дна Західної Антарктики. В. Д. Соловйов

Проналізовано особливості просторового розподілу геофізичних неоднорідностей тектонічних структур Західної Антарктики з метою детального вивчення локальних вулканічних структур дна Тихоокеанського узбережжя Антарктичного півострова і протоки Брансфілда. Виконано моделювання магнітних аномалій окремих вулканічних структур, показано результати вивчення геоелектричними методами глибинної будови сегментів рифтової долини протоки Брансфілда і окремих вулканів (о. Десеппшн). Проаналізовано також геофізичні дані про глибинні неоднорідності центральної западини протоки, що має важливе значення для оцінки ролі мантійних діапїрів у формуванні сучасного тектонічного режиму структур регіону – важливого об'єкта з погляду вивчення еволюції процесів континентального та окраїнного рифтогенезу. Моделювання локальних аномалій над вулканічними структурами свідчить про корове розміщення їх джерел на глибині до 8–12 км. Локальний, без регіональної складової, характер досліджених аномалій магнітного поля пояснюється особливостями термодинамічного режиму, швидкістю кристалізації гірських порід і, можливо, відсутністю значних вторинних змін магнітоактивних джерел більш глибинних горизонтів. Закартоване суттєве скорочення потужності земної кори в районах локального розташування підводних вулканів протоки Брансфілда підтверджує наявність у літосфері сприятливих умов для формування в процесі рифтоутворення зон проміжної кристалізації глибинної речовини.

Abstract. Magnetic anomalies and deep structure of West Antarctic volcanic submarine structures. V.D. Solovyov

The geophysical heterogeneities distribution was analyzed for detailed crustal study of the Pacific

margin of the Antarctic Peninsula and Bransfield Strait volcanic structures. The modeling of volcanic structure's magnetic anomalies has been realized. The modeling of local magnetic anomalies above volcanic structures shows that their sources are at a depth of 4–8 км. Local but not regional character of the magnetic anomalies is explained by the features of the thermodynamics and crystallization regime and possibly, by absence of the considerable secondary changes of magnetic sources at deeper horizons. It is observed that location of submarine volcanic structures of Bransfield Strait is fixed by high gradient zone of geoelectrical anomaly values and substantial Moho reduction. These data confirm the possible existence of favorable conditions for intermediate zones with deep crustal material and crystallization processes in the middle crust.

Key words: magnetic anomalies, West Antarctica, submarine volcanics

1. Введение

В Украинских антарктических экспедициях за последние годы были получены новые данные о распределении геофизических неоднородностей для многих структур дна Западной Антарктики. Материалы съемок в проливах Дрейка и Брансфилда, море Скоша, а также в пределах континентальных окраин Антарктического полуострова дали значительный объем новой информации для уточнения особенностей глубинного строения, а также детального изучения локальных вулканических структур дна Тихоокеанского побережья Антарктического полуострова и пролива Брансфилда. Данные о глубинной неоднородности центральной впадины пролива имеют важное значение для оценки роли мантийных диапиров в формировании современного тектонического режима структур региона – важного объекта с точки зрения изучения эволюции процессов континентального и окраинного рифтогенеза. Активные и разноплановые тектонические процессы содействовали широкому развитию вулканизма разного типа в этой уникальной области развития молодых геодинамических процессов, сопровождающихся формированием многочисленных вулканических поднятий и хребтов (рис. 1).

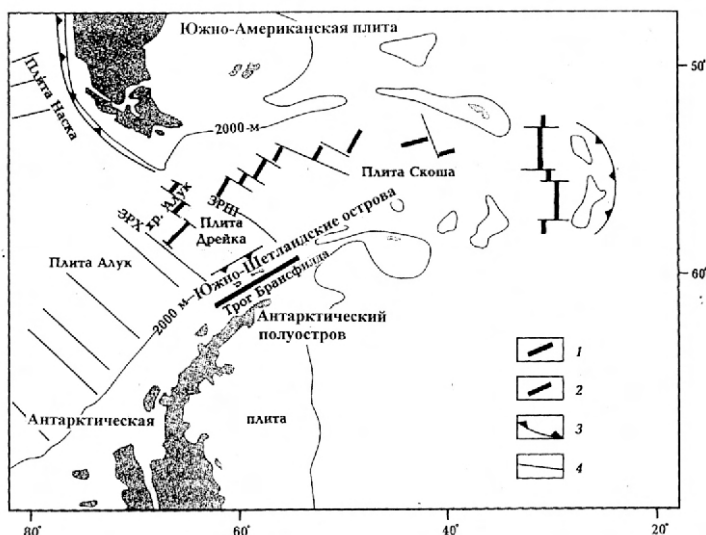


Рис. 1. Схематическая карта тектоники моря Скоша: 1 – сегменты активных срединных хребтов; 2 – сегменты неактивных хребтов; 3 – зоны субдукции; 4 – зоны разломов. ЗРШ – зона разломов Шеклтон; ЗРХ – зона разломов Херо.

Анализ распределения магнитных аномалий в этом районе показал, что возраст океанического дна возрастает в направлении на северо-запад и северо-восток от трех остаточных сегментов хребта Алука (Феникс), при этом минимальный возраст океанической коры не превышает 4 млн. лет. Данные о распределении изохрон дают представление о времени и последовательности формирования океанической коры в условиях сложной палеодинамики региона.

В зоне современного вулканизма пролива Брансфилда прослеживается цепочка неовулканических гребней и конусов. Наиболее крупные из них – действующие вулканы острова Десеппин, подводные вулканы Орка, Три Сестры и другие (рис. 2). Присущий центральной части котловины интенсивный локальный вулканизм сменяется в восточном направлении диффузионным вулканизмом с трещиноподобными структурами значительного объема. Важной особенностью глубинного строения структур пролива является его сегментация на отдельные блоки, которые отличаются по волновым характеристикам и коррелируют с вулканическими центрами осевой зоны. Границы этих блоков имеют важное значение для структурного контроля расположения отдельных вулканических центров.

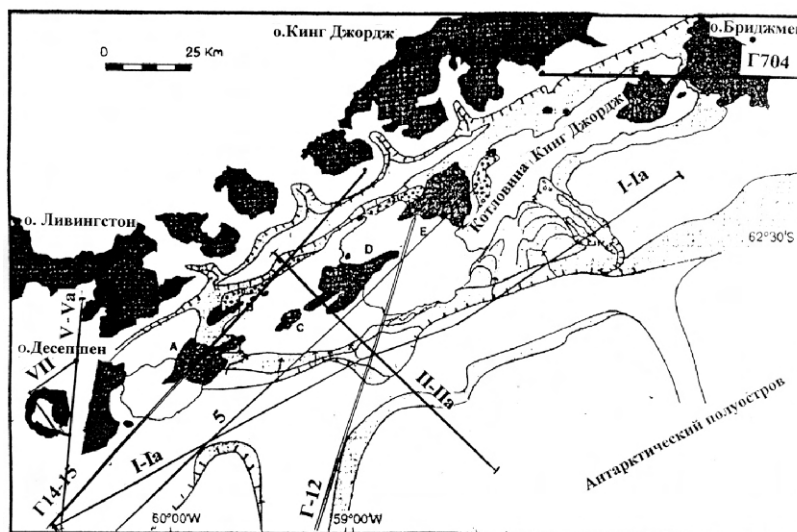


Рис.2. Схема расположения вулканических структур (А-F), профилей магнитной съемки (Г-12, Г14-15, Г704) и профилей ВЭРЗ (I – Iа, II – IIа, 5) в центральной части впадины Брансфилда. Вулканические структуры: D – «Три Сестры», E – «Орка»; F – хребет Хука.

2. Геофизические исследования подводных вулканических структур

Рассмотрим материалы геофизических (сейсмических, вертикального электро-резонансного зондирования – ВЭРЗ, магнитометрических и гравиметрических) исследований, которые дают возможность построить модели глубинного строения отдельных вулканических структур Западной Антарктики, уточнить особенности их формирования и тектонического положения. Формальная интерпретация магнитных аномалий вдоль профилей съемки проводилась И.Н. Корчагиным с помощью его авторских программ, а результаты исследований были частично опубликованы (Левашов С.П. и др., 2006, 2007, Levashov, S.P. et al., 2007, Соловьёв В. Д. та ін., 2009).

Профиль Г14-15 (рис. 3) характеризует распределение магнитных аномалий в западной

части пролива Брансфилда, в том числе и над подводной вулканической структурой А (рис. 2). Эта структура сформировалась как локальный подводный вулкан на месте протяженной интрузии, которая, в свою очередь, заполнила линейные трещины, сформированные в результате активных процессов расширения. Ширина этой зоны изменяется от 5 до 15 км, что совпадает с размерами интрузий, выделенных по сейсмическим данным в разрезе неовулканических структур дна пролива Брансфилда. Распределение аномалий на этом профиле свидетельствует о значительной магнитной неоднородности верхней части земной коры, в которой магнитоактивные источники расположены на глубине от 1,0 до 10,0 км. Наибольшая аномалия (до 450 нТл) зафиксирована над вулканической структурой А в центральной части пролива Брансфилда. Расчеты показали, что магнитоактивное тело с намагниченностью до 2-3 А/м расположено на глубине 3–9 км. Форма источников аномалий указывает на их разломное происхождение. Амплитуда магнитной аномалии над вулканической структурой, выраженной локальным поднятием рельефа дна (рис. 3, ПК35), не превышает 100 нТл, что свидетельствует о наличии приповерхностных (1.5–2.0 км)

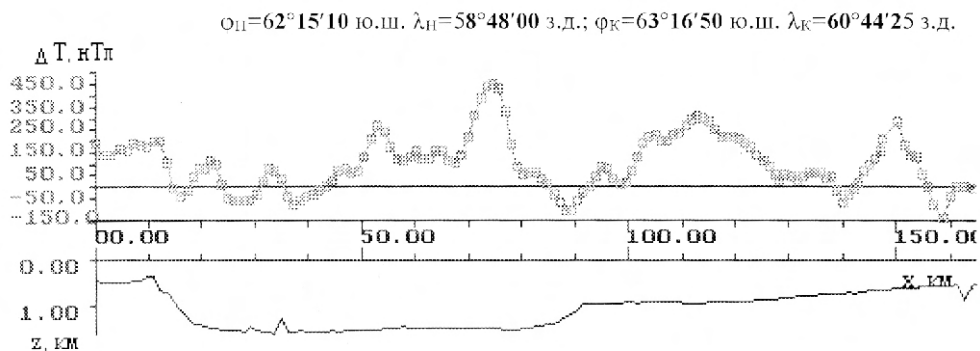


Рис. 3. Аномальное магнитное поле и рельеф дна вдоль профиля Г14-15. Положение профиля – на рис. 2.

источников с достаточно высокой намагниченностью (до 2 А/м). Сейсмические материалы также не показывают значительной волновой неоднородности разреза коры этого подводного вулкана. Поэтому можно считать, что локальная магнитная аномалия отражает неразвитый характер этой структуры, в разрезе коры которой вулканические породы не имеют широкого распространения.

Профиль Г12 пересекает подводный вулкан Орка – сложную протяжную структуру дна в центральной зоне пролива Брансфилда (рис. 2, 4). Результаты формальной интерпретации материалов магнитной съемки вдоль профиля Г-12 показали (рис. 4), что над подводным вулканом аномалия превышает 800 нТл. Источники аномалии с намагниченностью 2-3 А/м расположены на глубине 2–8 км. Можно также допустить, что эта структура имеет более глубокие магматические корни, общие для смежных подводных вулканов (Орка, Три Сестры).

Отсутствие значительных аномалий теплового потока, современных проявлений гидротермальной активности и специфических термальных структурных форм может быть связано с более древним возрастом этого вулкана. По данным магнитной съемки (профиль Г704), над хребтом Хука наблюдается аномалия до 1250 нТл, источники которой имеют намагниченность до 6,3 А/м и расположены на глубине от 2,5 к 12 км. В разрезе коры этой подводной вулканической структуры присутствуют аномалии скорости на глубине 2,5–9,0 км, хотя они и не являются такими выразительными, как в разрезе вулкана Орка.

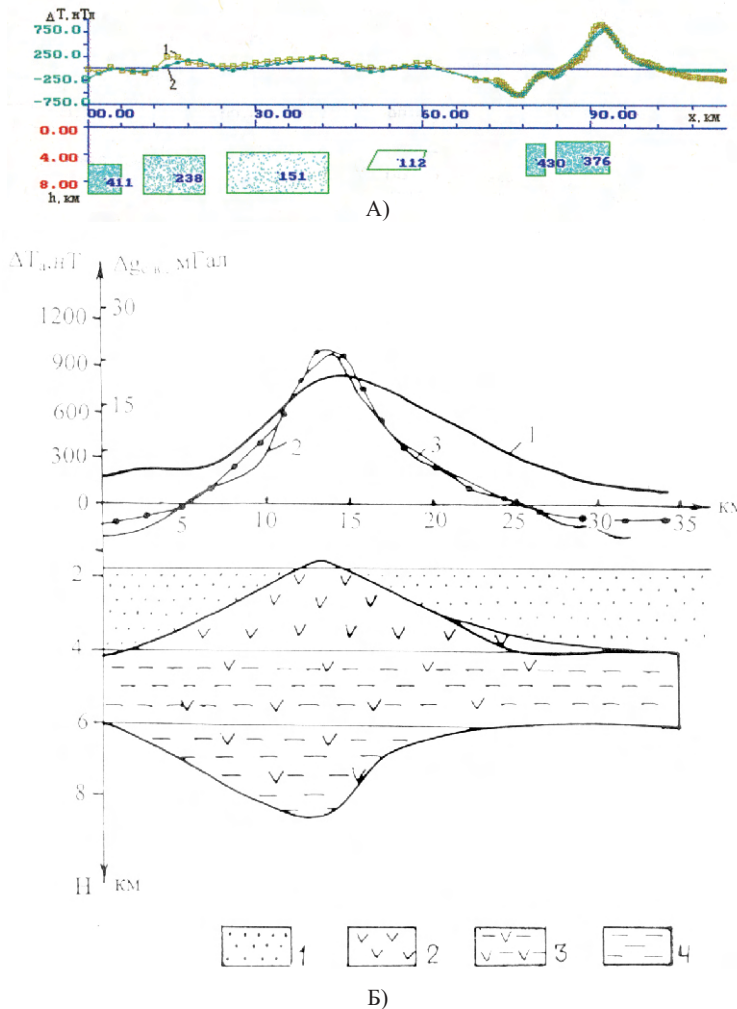


Рис. 4. Аномальное магнитное поле, рельеф дна вдоль профиля Г12 и положение магнитоактивных тел в разрезе (А); результаты моделирования магнитной аномалии и гравитационной аномалии (Б) профиля Г-12 над подводным вулканом Орка. Условные обозначения: 1 – измеренные значения гравитационной аномалии; 2 – измеренные значения магнитного поля; 3 – подобранные значения магнитной аномалии. Условные обозначения: 1 – осадки; 2 – плотные базальты вулкана; 3 – вулканические породы; 4 – породы слоя 2. Положение профиля – на рис. 2.

3. Моделирование магнитоактивного слоя подводного вулкана

Рассмотрим результат построения магнитной модели подводного вулкана, расположенного на краю внешнего шельфа тихоокеанского (западного) побережья Антарктического полуострова (рис. 5). Эта локальная вулканическая структура плейстоценового возраста (до 0,1 млн. лет) расположена на продолжении разломной зоны, восточное окончание которой разделяет побережье на отдельные сегменты.

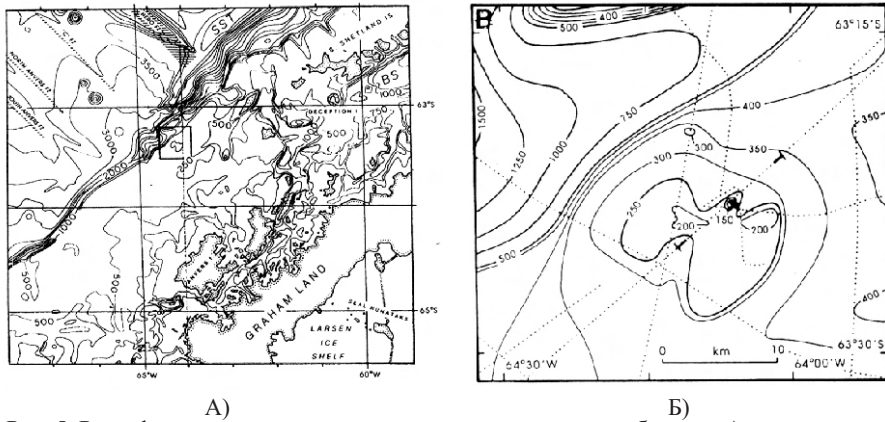


Рис. 5. Рельеф дна, структурные элементы тихоокеанского побережья Антарктического полуострова (А), район исследований (квадрат) и схематическая карта рельефа (Б) подводного вулкана, по (Hole M.J. et al, 1993).

Исследования геохимического состава драгированных пород вулкана показали (Hole M.J. et al, 1993), что базальты имеют геохимические характеристики, близкие к базальтам океанических хребтов.

Над вулканом наблюдается положительная магнитная аномалия амплитудой 150–250 нТл с максимальными значениями над вершинами подводного вулкана, возвышающимися до 200 м над уровнем дна.

Расчеты аномального поля от магнитных моделей выполнены И.Н. Иващенко по программам В.М. Завойского (Завойский В.Н., 1978). При расчетах значение магнитной восприимчивости равнялось 0,04 ед. СИ, т.е. было близким к значениям магнитной восприимчивости разнообразных интрузивных пород Антарктического полуострова, в составе которых есть магнетит (0,001–0,05 ед. СИ). Именно такие породы формируют источники, расположенные на глубине до 6–8 км для большинства локальных коровых магнитных аномалий региона. Моделирование показало, что магнитоактивные породы

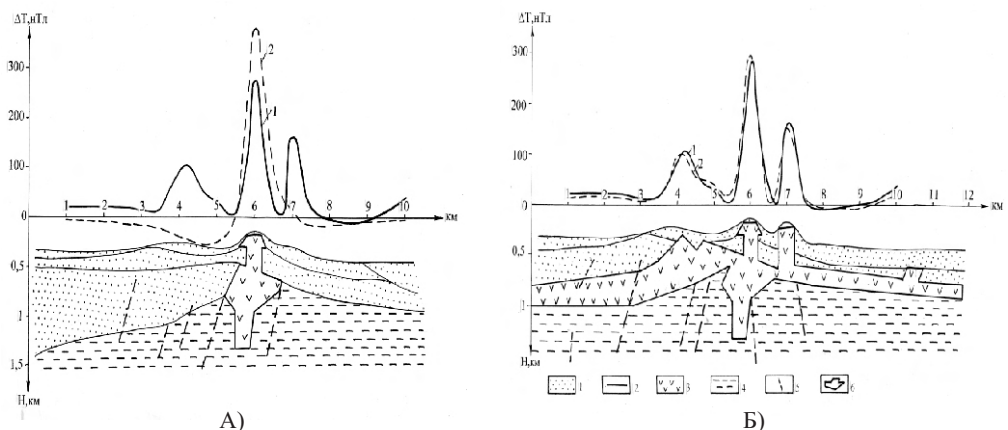


Рис. 6. Результаты моделирования магнитных аномалий подводного вулкана. Условные обозначения: 1 – осадочные породы; 2 – породы второго слоя; 3 – базальт; 4 – породы фундамента; 5 – разломы (по сейсмическим данным); 6 – положение вулкана в разрезе. Кривые: 1 – измеренные значения; 2 – подобранные значения магнитных аномалий. А – модель с одним аномально намагниченным центральным телом; Б – окончательный вариант моделирования магнитоактивного слоя вулканической структуры. Положение вулкана приведено на рис. 5

распространены не только в центральной зоне вулкана, где их мощность составляет 1,0–1,3 км, но и формируют непрерывный горизонт мощностью до 300–400 м на расстояние до 4-5 км от главной вершины этого подводного сооружения.

Геометрия модельного тела вулканической структуры в целом отвечает данным сейсмических исследований, которые позволили определить положение вулканической толщи в разрезе верхней части земной коры вулкана и показать, что именно породы вулканического происхождения, расположенные ниже уровня дна под небольшой прослойкой осадочных пород, отвечают за формирование магнитных аномалий (рис. 6).

Моделирование также показало, что нет необходимости считать намагниченными породы, расположенные на больших глубинах. Это может объясняться высоким положением изотермы Кюри титаномагнетита в разрезе, особенностями термодинамического режима и скоростью кристаллизации горных пород, намагниченных в направлении современного магнитного поля.

4. Исследование глубинной структуры о. Десеппн

Остров Десеппн – это стратовулкан, который образует небольшую надводную часть подводного хребта длиной 300 км, расположенного между островами Десеппн и Бриджмен. Для этого хребта характерно наличие современных тектонических процессов, сопровождающихся активной вулканической деятельностью с голоцена до наших дней на островах Десеппн, Пингвин, Бриджмен и др. Активные современные сейсмические события связывают

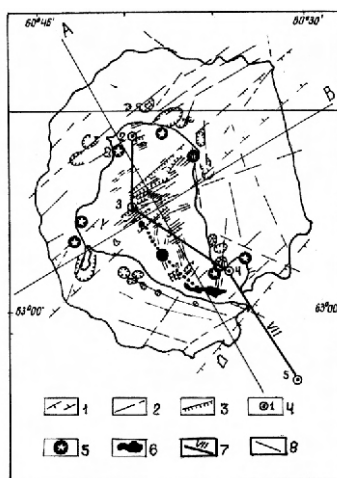


Рис. 7. Структурная схема о. Десеппн, по (Rey J. et al, 1991), с дополнениями. Условные обозначения: 1 – тектонические нарушения; 2 – разломы; 3 – зоны разломов; 4 – положение станций зондирования методом ВЭРЗ – 2004 г.; 5 – вулканы; 6 – подводные вулканы; 7 – профиль ВЭРЗ (VII); 8 – положение профилей сейсмотомографических исследований (Ben-Zvi T. et al, 2007).

с тектоническими движениями и локальными извержениями газов через жерла вулканических аппаратов. Все они – результат проявления процесса геодинамического развития новой структуры, сформированной на окраине рифтовой зоны Брансфилда. (Ben-Zvi T. et al, 2007).

Результаты геохимического анализа базальтов и андезито-базальтов острова свидетельствуют о влиянии нескольких тектонических процессов (дуговых и задуговых) и говорят об отсутствии элементной связи исследованных образцов с первичным мантийным веществом. Поэтому допускают существование в литосфере зон промежуточной кристаллизации вещества (Rey J. et al, 1991).

Сейсмические исследования последних лет позволили не только закартировать слой осадочных отложений в кальдере, но и доказать наличие корового магматического расплава (Ben-Zvi T. et al, 2007). Существованием магматической камеры с частично расплавленным веществом под кальдерой можно объяснить особенности современного гидротермального режима, формирование геотермальных аномалий и систем трещин с активной миграцией флюидов в приповерхностных водах.

Остановимся более детально на этих результатах, ведь они были получены в 2005 году, то есть после проведения сезонных исследований 2004 года на о. Десеппин методом ВЭРЗ. Сейсмический эксперимент был проведен с использованием пунктов взрывов в кальдере и вокруг острова и плотной системой приемников сигнала вдоль двух ортогональных профилей, а полученные данные были использованы для детальной характеристики глубинного разреза под островом и трассировки разлома, который контролирует положение вулканов острова.

Основные результаты этого эксперимента (рис. 8) можно свести к следующим: 1 - общая мощность осадочных отложений в котловине Порт Фостер достигает 1,0-1,2 км; 2 - под кальдерой на глубинах от 2,6-3,5 км к 7,5-8,0 км может существовать магматическая камера шириной 2-5 км, которая вызывает появление аномалий (до 0,7-1 км/с) пониженных скоростей; 3 - отрицательные аномалии сопровождаются с обеих сторон положительными аномалиями, что может свидетельствовать о наличии интрузий на небольших глубинах земной коры; 4 - высокоградиентная зона между отрицательной аномалией скорости и положительной аномалией (к северу от центра кальдеры) совпадает с положением регионального разлома, ограничивающего северную зону расширения пролива Брансфилда. На продолжении этого разлома расположены современные активные вулканы, извержения которых происходили в 1967 и 1970 гг. вблизи Телефонного залива. Разлом отделяет, по мнению (Munoz-Martin A.,

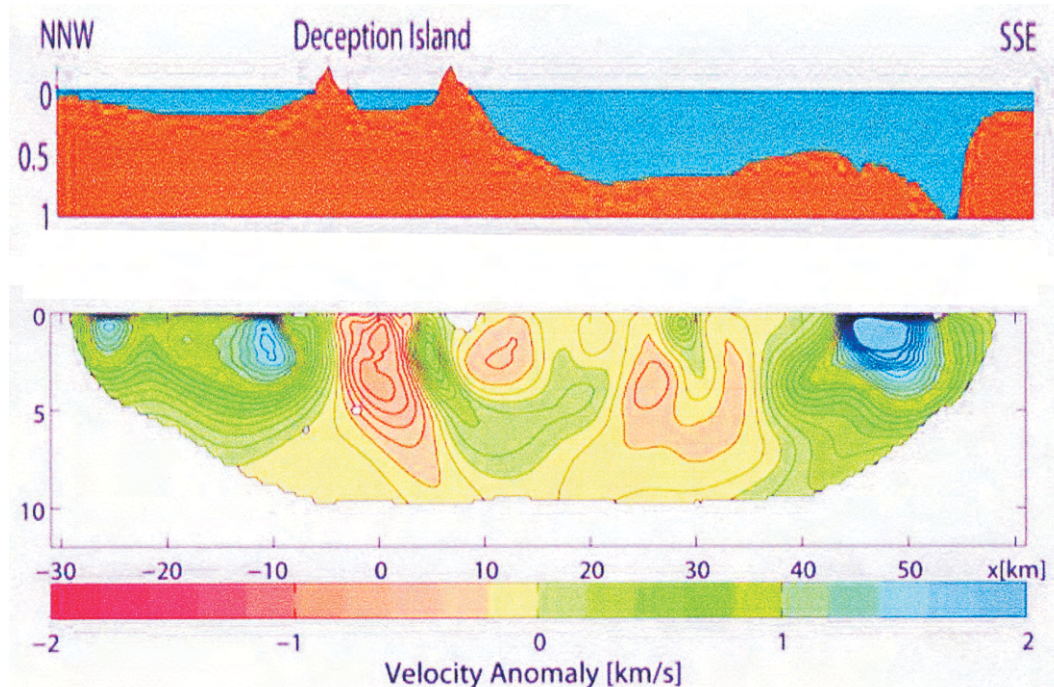


Рис. 8. Результаты томографических исследований вдоль профиля А через о. Десеппин (Ben-Zvi T. et al, 2007). Изолинии аномальной скорости даны через 0,1 км/с. Положение центральной части профиля А приведено на рис. 7.

Catalan M. et al., 2005), участки с разными типами коры – континентальной к северу от о. Десеппш и более основной, преобразованной, – к югу от него.

Рассмотрим результаты интерпретации исследований методом ВЭРЗ вдоль профиля VII-VIIa, полученные во время проведения сезонных работ в 2004 году (рис. 9). Профиль проходит через кальдеру вулкана Десеппш, где зафиксирован участок сниженного электрического сопротивления. Важно, что в этом месте аномалия становления короткоимпульсного поля (СКИП) изменяет знак с отрицательного на положительный. Протягивается зона высоких градиентов скип в направлении северо-запад – юго-восток, то есть совпадает с ранее выделенным направлением регионального разлома. Опыт исследований на других вулканах

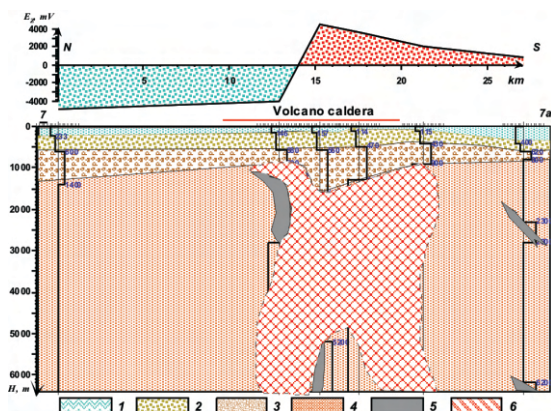


Рис. 9. Вертикальный геоэлектрический разрез по профилю 7-7а над вулканом Десеппш по (Levashov, S.P. et al, 2007). Условные обозначения: 1 – вода; 2 – первый осадочный слой пониженного геоэлектрического сопротивления (илы, глинистые, песчаные отложения); 3 – второй осадочный слой повышенного геоэлектрического сопротивления (зоны отложений обломочного материала, маренные отложения, зоны дробления верхней части пород фундамента); 4 – породы фундамента (ненарушенные) (эффузивные, интрузивные отложения); 5 – зоны повышенной поляризации и геоэлектрического сопротивления в теле фундамента (зоны даек); 6 – зоны пониженного геоэлектрического сопротивления в теле фундамента (зоны дробления). Положение профиля показано на рис. 7.

свидетельствует, что во многих случаях градиентная зона изменения полярности аномалий СКИП располагается над центром вулкана (Якимчук Н.А. и др., 2006).

По результатам интерпретации общая мощность осадочной толи в кальдере вулкана (и за ее пределами) колеблется от 0,5–0,7 км до 1,3–1,7 км. В центральной части профиля наблюдаются ее наибольшие изменения, связанные с наличием крупных структурных неоднородностей в верхней части земной коры кальдеры. Здесь удалось закартировать зону пониженного сопротивления шириной до 3–5 км (зону дробления), существование которой можно объяснить наличием частично расплавленного вещества на глубине 1,5–6,5 км. Усложняют глубинный разрез отдельные локальные зоны повышенного сопротивления и поляризации, проинтерпретированные как зоны даек, расположенных в центральной части профиля и за пределами кальдеры.

Если сравнить эти данные с результатами сейсмотомографических исследований (Ben-Zvi T. et al, 2007), то можно найти общие характеристики верхней части земной коры о. Десеппш, полученные разными методами. В первую очередь это касается кальдеры, где размеры магматической камеры расплавленного вещества, определенные морфологией интенсивной аномалии пониженной скорости, близки к размерам зоны пониженного сопротивления по данным ВЭРЗ. Мозаичное распределение аномалий скорости в

значительной мере совпадает с наличием неоднородности разреза кальдеры по геоэлектрическим данным (существенные колебания мощности осадков, включения даек и зоны возможного прогрева).

Региональные изменения мощности земной коры вблизи о. Десеппин, выявленные по данным сейсмических исследований и материалам интерпретации потенциальных полей (Munoz-Martin A. et al, 2005), также находят четкое отображение по данным ВЭРЗ. Исследование структуры земной коры региона до глубин более 32 км показало существенное сокращение ее мощности в районах локального расположения подводных вулканов пролива Брансфилда.

5. Выводы

Особенности пространственного распределения геофизических неоднородностей структур дна Западной Антарктики отвечают существованию региональной и локальной неоднородности строения земной коры и литосферы региона. Значительная пространственная неоднородность распределения поверхности Мохо в проливе Брансфилда связана со сложной глубинной архитектурой литосферы пролива, сформированной под воздействием региональных процессов подъема нагретого вещества верхней мантии в условиях формирования рифтовых структур неокеанического типа. Подъем разогретого глубинного вещества способствует и в значительной степени контролирует развитие вулканизма вдоль оси рифта. Моделирование локальных магнитных аномалий над вулканическими структурами свидетельствует о коровом размещении их источников на глубинах до 8–12 км. Локальный, без региональной составляющей, характер исследованных аномалий магнитного поля объясняется особенностями термодинамического режима, скоростью кристаллизации горных пород и, возможно, отсутствием значительных вторичных изменений глубинных горизонтов. Закартованное существенное сокращение мощности земной коры в районах локального расположения подводных вулканов пролива Брансфилда подтверждает наличие в литосфере благоприятных условий для формирования в процессе рифтообразования зон промежуточной кристаллизации глубинного вещества.

Неоднородности земной коры структур о. Десеппин могут свидетельствовать о существовании магматической камеры с частично расплавленным веществом на глубине 1,5–6,5 км. Анализ геофизических материалов показывает, что для о. Десеппин мозаичное распределение аномалий скорости в земной коре в значительной мере совпадает с наличием неоднородности разреза по геоэлектрическим данным.

Литература

1. **Завойский В.Н.** Вычисление магнитных полей от анизотропных трехмерных тел в задачах магниторазведки. // Физика Земли. – 1978. – №1. – С. 76–85.
2. **Левашов С.П., Бахмутов В.Г., Корчагин И.Н., Пищаный Ю.М., Якимчук Н.А.** Геоэлектрические исследования во время проведения сезонных работ 11-й Украинской антарктической экспедиции // Геоинформатика. – 2006. – № 2. – С. 24–33.
3. **Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Бахмутов В.Г., Соловьёв В.Д.** Новые геофизические модели земной коры проливов Дрейка и Брансфилда по геоэлектрическим данным / Электромагнитные исследования Земли (под редакцией В.В. Спичака): Материалы III Международной школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли (Звенигород, 2–8 сентября 2007 г., Центр геоэлектрических исследований МФЭ РАН). М.: МФЭ РАН, 2007. – С. 38–39.
4. **Соловьёв В.Д., Левашов С.П., Корчагин И.М., Якимчук М.А., Бахмутов В.Г., Чулков С.С.** Магнітні аномалії і глибинні геофізичні неоднорідності вулканічних структур

дна Західної Антарктики. «III Міжнародний полярний рік 2007-2008: Результати та перспективи». Тези IV МАК 2009, с. 32.

5. **Якимчук Н.А., Левашов С.П., Корчагин И.Н.** Рекогносцировочные геоэлектрические исследования в районе вулканов / В сб.: Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – Київ, 2006. – С. 257–265.

6. **Ben-Zvi T., Wilcock W.S.D., Barclay A.H., et al.** The P-way velocity structure of Deception Island, Antarctica, from two-dimensional seismic tomography // U.S. Geological Survey and The National Academies, USGS OF-2007-1047, Extended Abstract 078.

7. **Hole M.J., Larter R.D.** Trench-proximal volcanism following ridge crest-trench collision along the Antarctic Peninsula // Tectonics -1993 – V. 12, №4. – P. 897–910.

8. **J.Rey, L.Somoza, J.Martinez-Frias.** Evidencias tectonicas, volcanicas e hidrotemales en isla Decepcion, relacionadas con el marco geodinamico de la cuenca de Bransfield (Antartida). Actas del V simposio Espanol de estudios Antarticos. 1991., p. 209–221.

9. **Levashov, S.P., Yakymchuk, N.A., Korchagin, I.N., Bakhmutov, V.G., Solovyov, V.D., and Bozhezha, D.N.** (2007). 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 028, 4 p.

10. **Veit Andreas.** Volcanology and geochemistry of Pliocene to Recent volcanics on both sides of the Bransfield Strait (West Antarctica). // Reports on Polar and Marine Research. – 2002. – 420. – P. 179.