

УДК 528+550.3+550.837+551.21

**В.Д. СОЛОВЬЕВ¹, В.Г. БАХМУТОВ¹,
Н.А. ЯКИМЧУК², И.Н. КОРЧАГИН¹**

¹ Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
просп. Акад. Палладина, 32, Киев, 03680, Украина,
e-mail: solvalera@ukr.net

² Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии,
пер. Лабораторный, 1, Киев, 01133, Украина,
e-mail: yakymchuk@gmail.com

ГЛУБИННАЯ СТРУКТУРА И НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ВУЛКАНАХ ПРОЛИВА БРАНСФИЛД (ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА)

Для отдельных структур северной вулканической ветви Западной Антарктики в проливе Брансфилд показано существование сложной магмофлюидной системы, состоящей из серии разноуровневых коровых магматических камер, питаемых из зоны накопления на границе земной коры и мантии (глубина 25–30 км) и магмами, которые поднимаются непосредственно из верхней мантии. Согласно материалам глубинного частотно-резонансного зондирования разрезов, корни многих вулканов располагаются в расплавленном слое пород в интервале глубин 194–215 км и более. В отдельных случаях эту зону расплава могут прорывать породы более глубоких каналов миграции флюидов и минерального вещества. Наличие глубинных корней вулканических структур может быть связано с импульсным функционированием проникающего сквозь мантию газифлюидного канала с пониженной вязкостью, вследствие чего происходят подъём и формирование газонасыщенных расплавов на глубинах промежуточной кристаллизации.

По результатам глубинного зондирования и применения технологий частотно-резонансной технологии обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли выявлены закономерности строения земной коры и получены первые данные о глубинных каналах миграции флюидов, минералов и химических элементов в проливе Брансфилд. Каналы с различной глубиной формирования по данным частотно-резонансных исследований заполнены базальтами, ультрамафическими породами, а также различными группами осадочных пород. Широкий спектр пород, глубинных флюидов, минеральных веществ и химических элементов может быть обоснован с позиции процессов водородной дегазации Земли.

Результаты изучения магматических систем вулканических структур пролива Брансфилд свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших исследований для познания механизмов формирования и эволюции отдельных структур и глубинных геосфер в различных регионах Земли.

Ключевые слова: *Западная Антарктика, пролив Брансфилд, глубинное строение, Десепшен, подводные вулканы, прямые поиски, мобильная технология, обработка данных дистанционного зондирования Земли, интерпретация.*

Введение. Многообразие структурных форм и проявлений вулканизма (в том числе и современного) отражает разномасштабность приповерхностных и глубинных геологических процессов и эволюцию геосфер Земли. Изучение строения отдельных вулканов и магматических систем имеет важное значение для понимания роли вулканизма в формировании глубинных геологических структур, а также для решения широкого круга научных и прикладных задач.

Ниже представлены схематические разрезы, а также новые экспериментальные данные о глубинной структуре некоторых вулканов Западной Антарктики, полученные с использованием данных геоэлектрических методов исследований,

выполненных в украинских антарктических экспедициях [1, 4, 11, 12, 19, 23].

Общие принципы и методика геоэлектрических измерений. В основе этих методов лежат представления Н. Теслы, который считал, что Земля — это сферический конденсатор, образованный различными слоями от ее ядра до поверхности с разными параметрами — толщиной, диэлектрической проницаемостью, плотностью, контактной разностью потенциалов. Каждый объект в природе имеет свой электрический заряд и создает вокруг себя соответствующую напряженность электрического поля и соответствующие стоячие полуволны с другими объектами Вселенной [13].

Разработанные технологии ориентированы на изучение зон поляризации на границах раздела геологических неоднородностей разреза и естественного электромагнитного фона Земли.

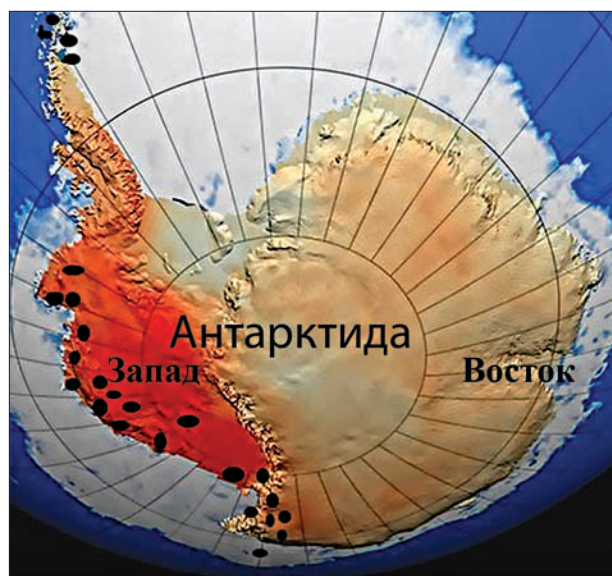
В основу метода вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) положен эффект поляризации геоэлектрических неоднородностей разреза в естественном квазистационарном электрическом поле Земли. Неоднородности геологического разреза, характеризующиеся аномальными значениями геоэлектрических параметров среды, поляризуются в поле Земли, образуя систему электрических диполей. При изменении величины естественного электрического поля Земли $E(z)$ электрические диполи излучают электромагнитные колебания с длиной волны, равной: $L = 2H$ (H — глубина до поверхности поляризованного тела). Это дает возможность оценить глубину залегания аномальных геоэлектрических объектов.

В дальнейшей реализации указанных представлений была разработана «вещественная» парадигма геофизических исследований [11], сущность которой заключается в выделении и локализации конкретного сигнала (частоты) от определённого (эталонного) вещества. Выявленная прямая зависимость между положением высот различных слоёв в структуре атмосферы и литологическими границами (волноводами) Земли, обладающими высокими контактными потенциалами, а также использование эталонных частот для разных типов пород и минералов позволяют применять частотно-резонансные методы для изучения глубинного строения нашей планеты и решения проблем поисков многих видов полезных ископаемых [1, 4, 11, 12].

Результаты использования модифицированных методов обработки и декодирования спутниковых снимков и фотографий дают возможность дополнить представления о глубинных процессах формирования структур Западной Антарктики.

О вулканах Западной Антарктики и Антарктиды: пролив Брансфилд. В Западной Антарктиде и в районе Антарктического полуострова обнаружено более 140 вулканов [23, 24], значительная их часть относится к недействующим вулканическим структурам, погребённым под мощной толщей льда и сгруппированным в виде отдельных разобщённых скоплений (вулканических провинций) вдоль побережья континента (рис. 1).

Повышенные градиенты приземных температур в западной части Антарктиды [24] могут быть в значительной степени связаны с наличием локальных вулканических структур, систем глубинных и приповерхностных магматических очагов и каналов, формирующих тепловое поле этого



● вулканические структуры

Рис. 1. Схематическая карта распределения градиентов наземных температур в Антарктиде по результатам измерений за 50 лет (1956—2006) [37]. Показано положение отдельных вулканов и их скоплений в Западной Антарктике. Более интенсивный цвет соответствует повышенным градиентам и тепловому потоку (более 60 мВт/м^2)

Fig. 1. Schematic distribution map of temperature gradients in West Antarctica according to the results of measurements for 50 years (1956–2006), by [24]. The position of separate volcanoes in the West Antarctica is shown. A more intense color corresponds to increased gradients and heat flux (more than 60 mW/m^2)

региона (рис.1). Пространственная связь системы отдельных вулканических образований со структурами побережья указывает на приуроченность значительной части вулканов к протяжённым сегментам Западно-Антарктической рифтовой зоны [1].

Пролив Брансфилд относится к ключевым объектам при изучении рифтогенеза и эволюции структур Тихоокеанских континентальных окраин активного и пассивного типов. Он — один из самых исследуемых геофизическими методами районов Западной Антарктики.

Результаты геолого-геофизических исследований структур литосферы пролива Дрейка и континентальной окраины Антарктического полуострова способствовали развитию новых представлений об эволюционной модели глубинного строения земной коры и многофакторных тектонических преобразований структур Западной Антарктики [1—3, 7—10, 15, 18—22].

Этот четко выраженный в рельефе бассейн размером $400 \times 80 \text{ км}$ расположен между Южными Шетландскими островами на севере и Антарктическим полуостровом на юге. Пролив имеет суммарную площадь более 65 тыс. км^2 и

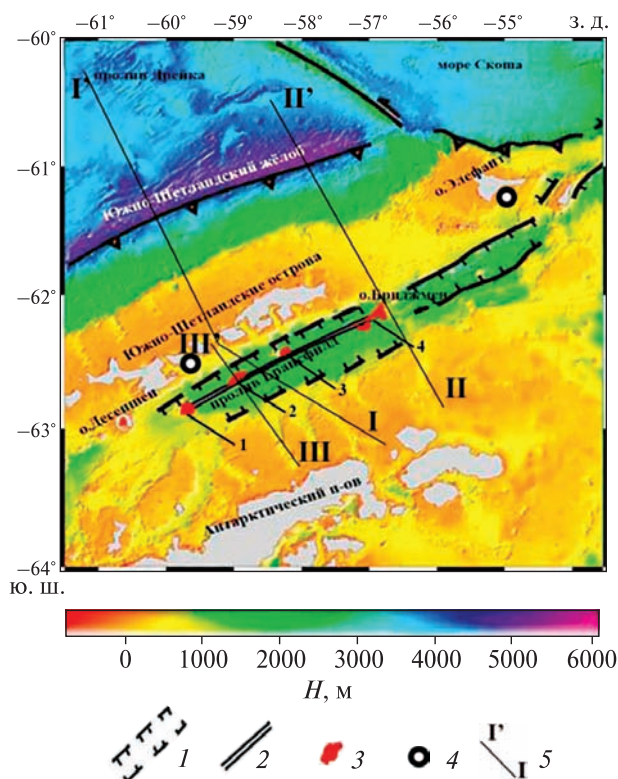


Рис. 2. Положение пролива Брансфилд и вулканических структур вблизи Антарктического полуострова, по [19]: 1 — трог пролива Брансфилд; 2 — осевая зона пролива; 3 — вулканические структуры (1 — «Экс»; 2 — «Три Сестры»; 3 — «Орка»; 4 — хребет Хук); 4 — пункты частотного зондирования глубинных ВЭРЗ; 5 — интерпретационные профили: I—I' — [3]; II—II' — [7]; III—III' — [15]

Fig. 2. The Bransfield Strait and volcanic structures location near the Antarctic Peninsula, according to [19]: 1 — trough of the Bransfield Strait; 2 — axis zone of the Strait; 3 — volcanic structures (1 — «Eks»; 2 — «Three Sisters»; 3 — «Orka»; 4 — ridge Hook); 4 — points of frequency sounding of deep VERS; 5 — interpretation profiles: I-I' — [3]; II-II' — [7]; III-III' — [15]

асимметричное поперечное сечение (с севера на юг). В его пределах выделяют три (Западную, Центральную и Восточную) котловины (рис. 2).

Западная впадина граничит на востоке с Центральной впадиной в районе о-ва Десепшен (рис. 2) и имеет протяженность 130 км (при ширине 70 км). Средние глубины здесь колеблются от 1500 до 1900 м. Крупные подводные вулканы с современной активностью в её пределах не выявлены, известны лишь небольшие подводные горы и вулканические постройки, приуроченные к локальным тектоническим субмеридиональным разломам.

Центральная впадина вытянута на 230 км (при ширине 60 км и максимальной глубине 2,0 км). Характерная её особенность — наличие крупных вулканических построек (рис. 2), изометричных (горы Экс и Орка) или вытянутых вдоль оси

впадины структур (Три Сестры и хребет Хук). Все вулканические постройки практически лишены осадочного покрова, характерного для смежных участков впадины [10].

Восточная впадина граничит с Центральной впадиной в районе о-ва Бриджмен (рис. 2), где в зоне перемычки наиболее интенсивно проявляется сейсмическая активность. Впадина протягивается на 150 км (при ширине около 50 км и максимальной глубине 2,7–2,9 км). Она отличается повышенной глубинностью, отсутствием крупных вулканических построек и относительной приподнятостью акустического фундамента (на 0,5–1,0 км) и раздела Мохо.

Площадь наибольшей *Центральной котловины* превышает 30 тыс. км². По морфологии желоб центральной части пролива Брансфилд можно характеризовать как активное рифтовое ущелье (с соосными вулканическими структурами), разделяющее два континентальных блока. Неовулканическая зона — важный структурный элемент пролива Брансфилд.

В настоящее время в истории формирования пролива Брансфилд выделяют несколько этапов растяжения и раскола континентальной коры с формированием системы грабенов (севернее Антарктического полуострова), активной вулканической деятельностью и образованием вулканических структур, а также отложением стратифицированной осадочной толщи мощностью 0,2–0,8 км [10].

Рифт пролива Брансфилд, наиболее выраженный в центральной части пролива, составляет часть рифтовой системы, прослеживаемой от Южной Сандвичевой островной дуги до о-ва Десепшен [8]. Современная тектоническая активность в проливе подтверждается повышенными значениями теплового потока и обилием центров вулканической деятельности.

Высокоточные GPS-измерения определяют скорость расширения до 10 мм/год ортогонально простиранию пролива, что позволяет относить Центральную котловину пролива Брансфилд к области формирования рифтовой зоны с глубинной структурой (рис. 3) медленно раздвигающегося срединно-океанического хребта [2].

Пролив Брансфилд различные авторы относят либо к окраинным бассейнам с океанической корой, либо к задуговым бассейнам с редуцированной и растянутой континентальной корой [1–3, 18]. Возраст пролива у разных исследователей колеблется от 37–26 до 4–3 млн лет [1–3, 8, 10, 15, 23].

Также разнятся взгляды на природу процессов растяжения. К причинам появления задугового бассейна относят: а) процесс субдукции плиты

Феникс и погружение литосферного слэба под Южные Шетландские острова, продолжающиеся после замедления и остановки спрединга на хребте Феникс; б) воздействие и продвижение тектонических деформаций со стороны хребта Южный Скоша; в) региональное влияние подъёма глубинного потока мантийного вещества со стороны Тихого океана; суммарное воздействие перечисленных и других факторов [1–3, 7, 8, 10, 15, 18, 23].

Геофизические модели и глубинное строение пролива Брансфилд. В настоящее время для структур пролива Брансфилд существует целый ряд геолого-геофизических моделей.

Сравнение результатов комплексного геолого-геофизического моделирования вдоль профилей I–III (рис. 2) показывает неоднозначность интерпретации глубинного строения и геодинамической эволюции региона. По мнению авторов сейсмических работ, материалы профилей через проливы Дрейка и Брансфилд свидетельствуют о субдукции фрагментов океанической плиты Феникс в Южно-Шетландском жёлобе [7, 18]. Следствием её замедления, которое произошло (по данным интерпретации линейных датированных магнитных аномалий) в проливе Дрейка около 4 млн лет назад, было раскрытие пролива Брансфилд и формирование задугового рифтового бассейна с проявлениями современной вулканической деятельности в его центральной части [18]. К подобным выводам, на основе комплексного моделирования вдоль профиля I–I (DSS-17), пришли и авторы работы [1]. Гравимагнитная модель вдоль профиля III–III (рис. 2) в центральной части котловины Брансфилд, дала основание авторам статьи [15] утверждать, что пролив Брансфилд представляет собой активный задуговый бассейн, образованный в процессе отделения блока Южных Шетландских островов от Антарктического полуострова под влиянием субдукционных процессов и продвижения деформаций растяжений со стороны хребта Южный Скоша. На важную роль этих деформаций в формировании рифтовой зоны пролива Брансфилд указано и в статье [7].

На рис. 4 представлены результаты комплексного моделирования морских гравиметрических данных вдоль профиля I–I (DSS-17) [3], а также для профиля II–II, пересекающего пролив Брансфилд, [7].

Хорошая сходимость модельного и наблюдаемого полей в обоих случаях может свидетельствовать о правильно подобранных параметрах разреза моделируемых структур (рис. 4). Однако авторы дают совершенно различную геолого-тектоническую интерпретацию представленных

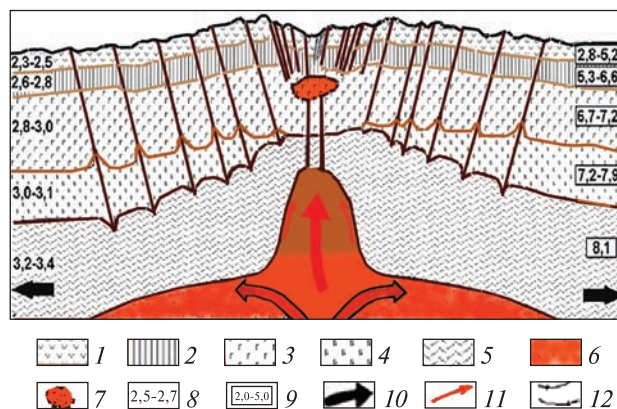


Рис. 3. Схематическая модель строения рифтовой зоны медленно раздвигающегося срединно-океанического хребта ($v \leq 4$ см/год), по [1, 2]: 1 — экструзивы подушечных базальтов (слой 2A); 2 — дайки (слой 2B); 3 — плутонические породы, габбро (слой 3A, 3B); 4 — серпентиниты; 5 — ультрабазические породы верхней мантии; 6 — астеносфера; 7 — линза расплава; 8 — плотность пород, г/см³; 9 — сейсмические скорости, км/с; 10 — мантийные течения; 11 — направление миграции расплава; 12 — гидротермальная циркуляция

Fig. 3. Schematic model of slowly spreading mid-ocean ridge ($v \leq 4$ cm/year) structure, by [2]: 1 — extrusion pillow basalts (layer 2A); 2 — dikes (layer 2B); 3 — plutonic rocks, gabbro (layer 3A, 3B); 4 — serpentinites; 5 — ultrabasic rocks of the upper mantle; 6 — asthenosphere; 7 — melt lens; 8 — rock density (g/cm³); 9 — seismic velocity (km/s); 10 — mantle currents; 11 — direction of migration of the melts; 12 — hydrothermal circulation

моделей. Так, авторы сейсмоплотностной модели (рис. 4, а) вдоль профиля I–I (DSS-17) пришли к выводу о невозможности создать плотностной разрез, адекватный приведенному в работе [18] сейсмическому разрезу, что ставит под сомнение реальность субдукционных процессов в пределах континентальной окраины [3].

Иная геолого-тектоническая интерпретация геодинамической эволюции проливов Дрейка и Брансфилд на основе построенной сейсмоплотностной модели (рис. 4, б) дана в статье [7]. Её автор считает, что «Остановка спрединга на хребте Алул 3,3 млн лет назад привела к перераспределению сложной конфигурации осей растяжения и сжатия, связанных с взаимными перемещениями плит Антарктической, Скоша, Шетландской и Феникс, и явилась спусковым механизмом к началу продвижения деформаций растяжения со стороны хребта Южный Скоша и формированию рифта пролива Брансфилд» [7. с. 17]. Таким образом, для профилей, пересекающих пролив Брансфилд, построены комплексные геофизические модели, которые кардинально различаются параметрами глубинной структуры и геолого-тектоническими выводами.

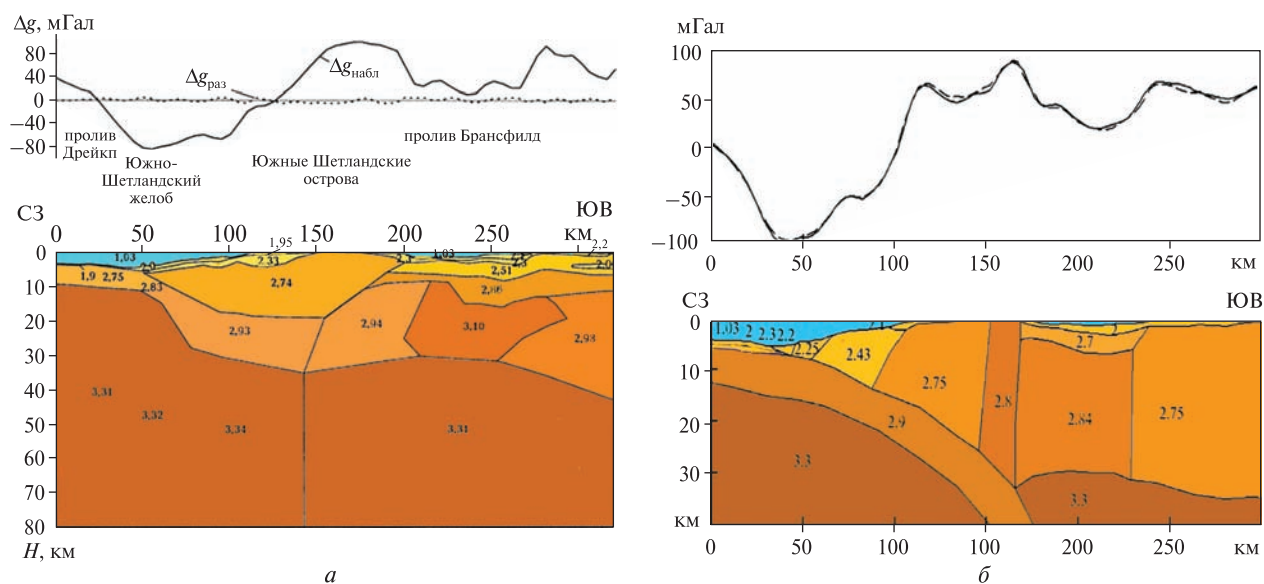


Рис. 4. Двумерные сейсмоденситивные модели континентальной окраины Антарктического полуострова: *a* — вдоль профиля I—I' (DSS-7), по [3]; *б* — вдоль профиля II—II', по [7]. Числа — значение плотности, г/см³. Положение профилей см. на рис. 2

Fig. 4. The results of complex modeling of marine gravity data along profile I-I' (*a*), by [3], and profile II-II' (*b*) across the Bransfield Strait, by [7]. Numbers — density value in g/cm³. The profiles position — Fig. 2

Утверждение о том, что «при гравитационном моделировании критерием правильного отражения строения литосферы в плотностной модели должна служить не её максимальная приближенность к сейсмической, а геолого-тектоническая обоснованность полученной структуры при достаточно точном подборе наблюдаемого поля» [3, с. 72], не может считаться однозначным. Приведенные примеры (рис. 4) показывают, что геолого-тектонические предпосылки в том или ином виде закладываются в модель, поэтому они не могут быть критерием «правильности» подобранного разреза даже при условии достаточно точного подбора модельного поля.

Кроме того, за пределами рассмотрения и моделирования остались плотностные мантийные аномалии, вызванные неоднородностями, только глубже которых разрез мантии становится «нормальным» для этого региона. Региональное влияние аномально разогретого глубинного вещества на геодинамические процессы в районе пролива Дрейка, Южных Шетландских островов и пролива Брансфилд существенно меняет распределение плотностных неоднородностей литосферы и верхней мантии до глубины 150–200 км. Общий, дифференцированный по площади, эффект воздействия аномальных температур активизированной мантии в районе исследований может превышать –150 мГал [1].

Следует отметить, что принятые для моделирования значения плотности мантии (3,3–3,31 г/см³) в осевом блоке пролива Брансфилд

близки к ее «нормальному» значению, что требует дополнительных объяснений, поскольку структура находится в зоне активных, в том числе современных, тектонических преобразований. Значение плотности мантии (3,21 г/см³) в модельных построениях авторов [3] для осевой зоны пролива Брансфилд можно считать более оправданным.

Общим элементом для всех предложенных моделей является наличие блока коро-мантийной смеси (разогретого мантийного вещества) в глубинном разрезе (рис. 3, 4) Центральной котловины Брансфилд. Вполне вероятно, что формирование молодой рифтовой системы в Центральной котловине пролива Брансфилд, локализованной под осью трога, связано с расколом в осевой части пролива, подъемом разогретого вещества и последующим образованием неовулканической зоны.

Привлечение независимых данных, в том числе материалов изотопно-геохимических и петрологических исследований, томографии, экспериментальных данных о физических свойствах пород при высоких давлениях и температурах, а также о частотно-резонансных и других характеристиках пород и отдельных блоков литосферы, дополняет возможности комплексного анализа тектоники и геодинамики этого обширного региона.

Вулканические породы зоны от о-ва Десепшен до о-ва Бриджмен имеют изменяющиеся вдоль оси пролива геохимические и изотопные

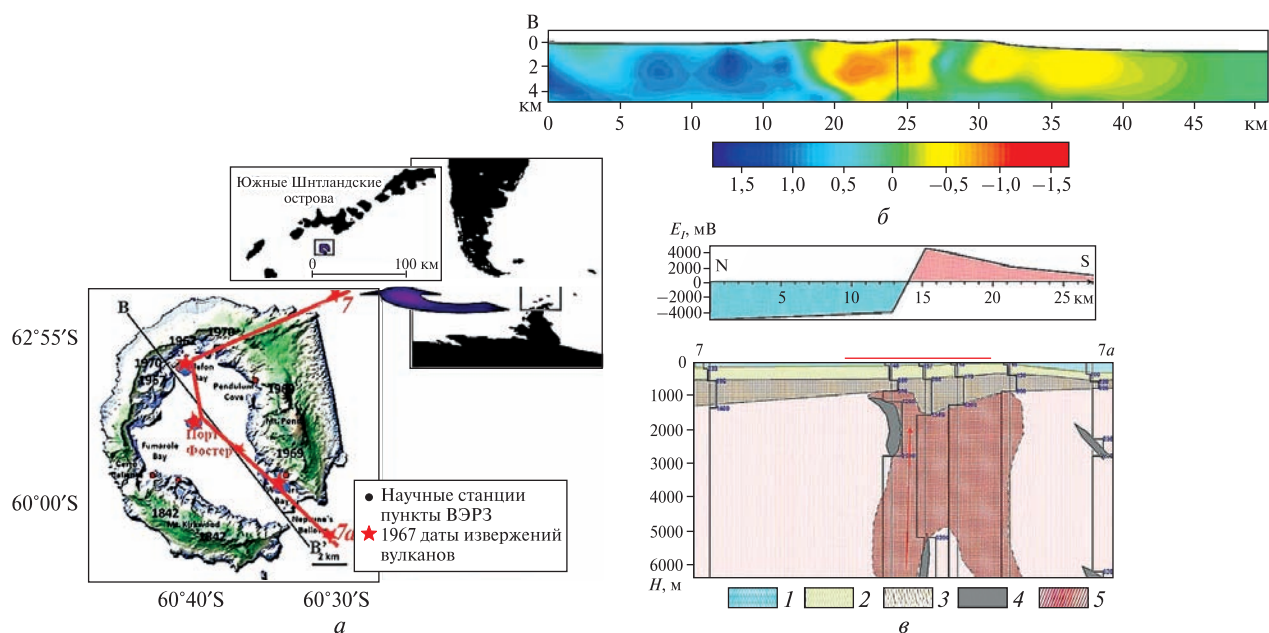


Рис. 5. Схема расположения вулкана Десепшен [22]: *a* — положение профиля 7–7а, пунктов ВЭРЗ [19] и положение профиля В–В’ [27]; *б* — результаты интерпретации вдоль профиля В–В’; *в* — разрез ВЭРЗ по профилю 7–7а над вулканом Десепшен [19]; 1 — вода; 2 — первый осадочный слой пониженного геоэлектрического сопротивления (илы, глинистые, песчаные отложения); 3 — второй осадочный слой повышенного геоэлектрического сопротивления (зоны отложений обломочного материала, моренные отложения, зоны дробления верхней части пород фундамента); 4 — зоны повышенной поляризации и геоэлектрического сопротивления в фундаменте (зоны даек); 5 — зоны прогрева в фундаменте (зоны дробления)

Fig. 5. Scheme (a) of the Deception volcano location [22], with the profile 7–7a, VERS points [19] and profile B–B’ position, by [27]; (b) — interpretation results along the B–B’ profile; (c) — VERS — section along profile 7–7a [19]. Legend: 1 — water; 2 — first sedimentary layer of low geoelectric resistance (silts, clay, sand deposits); 3 — second sedimentary layer of increased geoelectric resistance (zones of clastic material, moraine deposits, crushing zones of the upper part of basement rocks); 4 — zones of increased polarization and geoelectric resistance at the basement (dike zone); 5 — heating zone at the basement (crushed zone)

особенности. Породы, отобранные из подводных поднятий северо-восточной части пролива Брансфилд, были отнесены к трем различным группам, одна из которых близка к базальтам срединно-океанических хребтов, вторая — к базальтам Южно-Шетландской вулканической дуги, а третья — к специфическому мантийному источнику срединных хребтов Тихого океана [8, 9]. Промежуточный геохимический состав исследованных базальтов можно объяснить значительным влиянием термальных эффектов мантийных пород, которые были подняты в верхние горизонты земной коры побережья Антарктического полуострова из общих источников формирования астеносферных расплавов.

Согласно детальным исследованиям геохимического состава образцов из вулканов пролива Брансфилд, при формировании структур пролива большое значение имели не только процессы медленной субдукции в Южно-Шетландском желобе, но и формирование (в юго-западном направлении) зоны разломов Южного хребта Скоша, которое длилось более 3 млн лет [7, 15].

О структуре вулканических построек пролива Брансфилд. Рассмотрим некоторые характеристики вулканических структур пролива Брансфилд, образующих северную вулканическую ветвь в Западной Антарктике вблизи Антарктического полуострова (см. рис. 2). К наиболее крупным из них относятся действующий подводный вулкан о-ва Десепшен, а также подводные вулканы Орка, Три Сестры и др.

Структуры пролива сегментированы на отдельные блоки, которые отличаются по волновым характеристикам и коррелируют с вулканическими центрами осевой зоны. Следует отметить, что в трех выделенных котловинах пролива наблюдается различный характер проявления вулканизма — в Западной и Восточной котловинах выделяют по четыре вулканические постройки, а наиболее активный вулканизм, сопровождавшийся формированием достаточно крупных подводных вулканов (более 10), приурочен к Центральной котловине (рис. 2). В проливе локальный вулканизм Центральной котловины сменяется в восточном направлении вулканиз-

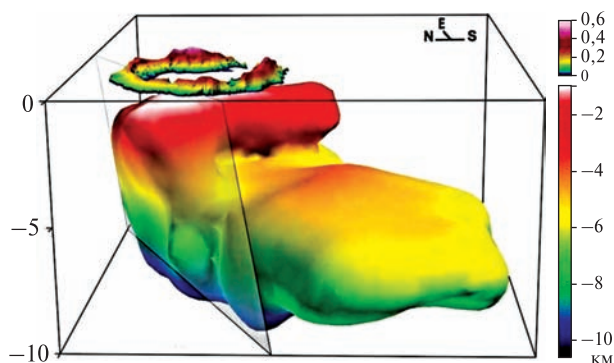


Рис. 6. Модельный вертикальный разрез через о-в Десепшен с проводящим телом, по [21]

Fig. 6. Model vertical section through Deception Island with a conducting (melting) body in the Earth's crust, according to [21]

мом с трещиноподобными структурами значительного объема [10].

Для этого района характерны современные тектонические процессы, сопровождающиеся активной вулканической деятельностью от голоцена до наших дней на островах Десепшен, Пингвин, Бриджмен и др. Активные современные сейсмические события связывают с тектоническими движениями и локальными извержениями газов через жерла подводных вулканических аппаратов.

Вулкан Десепшен — многофазный стратовулкан кальдерного типа — расположен на одноимённом острове в проливе Брансфилд (рис. 2). Кальдера вулкана (залив Порт-Фостер) сформировалась более 10 тыс. лет назад, при этом выброс расплавленной магмы составил около 30 км².

Этот вулкан — один из немногих наземных действующих вулканов Антарктики, периодически проявляющий свою вулканическую деятельность и несущий потенциальную угрозу для окружающей среды, персонала научных станций острова, а также для безопасности полётов в регионе [16, 21, 22].

Результаты интерпретации исследований методом ВЭРЗ вдоль профиля 7—7а (см. рис. 5) через кальдеру вулкана Десепшен показали, что общая мощность осадочной толщи в кальдере вулкана (и за ее пределами) колеблется от 0,5—0,7 до 1,3—1,7 км. В центральной части закартирована зона пониженного сопротивления шириной до 3—5 км, существование которой можно объяснить наличием частично расплавленного вещества на глубине 1,5—6,5 км.

Существованием магматической камеры с частично расплавленным веществом под кальдерой можно объяснить особенности современного гидротермального режима, формирование аномалий и систем трещин с активной мигра-

цией флюидов в приповерхностных водах. Повышенная гидротермальная активность в районе о-ва Десепшен, наличие большого количества кратеров на суше, фумарол и многих подводных вулканов в юго-восточной части острова свидетельствуют о крупных размерах источников магмы и флюидов, расположенных на значительной глубине и генетически связанных не только с локальными, но и с региональными процессами тектонической и геодинамической эволюции региона.

Данные ВЭРЗ и результаты более поздних сейсмотомографических исследований имеют общие характеристики строения (рис. 6) верхней части земной коры о-ва Десепшен [21, 22]. Мы предполагаем, что этот разрез характеризует приповерхностную промежуточную камеру, разогретый газовулканический материал в которую поступает из более глубоких источников. Возможная глубина очагов магматических расплавов вулкана Десепшен (рис. 7) составляет 25—30 км [9]. Реальное положение нижней границы канала поступления газонасыщенных расплавов для большинства вулканических построек остаётся неизвестным в силу ограниченности сведений об их глубинном строении, поэтому представляют интерес экспериментальные данные, свидетельствующие о принципиальной возможности определить положение очагов питания вулканов разного типа [11, 12].

Региональные изменения мощности земной коры вблизи о-ва Десепшен подтверждены данными ВЭРЗ, согласно которым мощность земной коры значительно сокращена в районах ло-

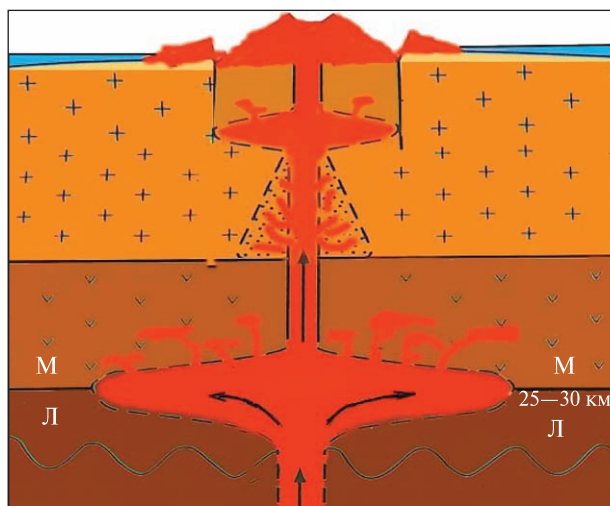


Рис. 7. Схематическая модель коровых магматических каналов и очагов вулкана о-ва Десепшен: М — положение раздела Мохо; Л — литосфера

Fig. 7. Schematic model of the Deception Island magmatic channels and volcano chambers: М — position of the Moho boundary; L — lithosphere

кального расположения подводных вулканов пролива Брансфилд. Утонённая кора характерна для всего района развития вулканических структур Западной Антарктики и Антарктиды [1, 23].

Пространственная неоднородность распределения поверхности раздела Мохо в проливе Брансфилд связана со сложной глубинной архитектурой литосферы пролива, сформированной под воздействием региональных процессов подъема нагретого вещества верхней мантии. Подъем разогретого глубинного вещества способствует развитию вулканизма вдоль оси рифта и в значительной степени контролирует его.

Сокращение мощности земной коры в районах локального расположения подводных вулканов пролива Брансфилд подтверждает наличие в литосфере благоприятных условий для формирования в процессе рифтообразования зон промежуточной кристаллизации глубинного вещества. Моделирование локальных магнитных аномалий над вулканическими структурами [10, 23] свидетельствует о коровом размещении их источников на глубинах до 8–12 км.

Согласно результатам петролого-геохимического моделирования [16], магмы, питающие посткальдерные извержения на о-ве Десеппен, расположены, в основном, на глубинах от 2 до 10 км. Они сформировали сложную сеть отдельных, потенциально взаимосвязанных мелких резервуаров переменного размера, объема и состава (очаги 2–6, рис. 8). Магмы, питающие часть магмоподводящей системы о-ва Десеппен (очаг 1, рис. 8), могли подниматься непосредственно из мантии или из очага, расположенного на границе коры и мантии (глубина 25–30 км) вблизи раздела Мохо.

Система магматических очагов под островом (рис. 8) может состоять из остатков магмы, рождённых на стадии кальдеро- и посткальдерообразования, а также магмы, вторгшейся в последние десятилетия (1992, 1999 и 2014–2015 гг). Системы магматического насыщения разреза подобной конфигурации были описаны для других кальдер мира (например, вулкан Санторини). Формирование небольших магматических резервуаров связано с разломами, контролирующими образование кальдеры. Поэтому здесь по результатам геофизических исследований предполагается наличие высокотемпературной геотермальной системы [22].

Рассмотренные параметры положения магматических расплавов вулканической постройки о-ва Десеппен достаточно хорошо согласуются с обобщённой схемой расположения многоуровневных магматических образований в разрезе литосферы континентальной окраины (рис. 9).

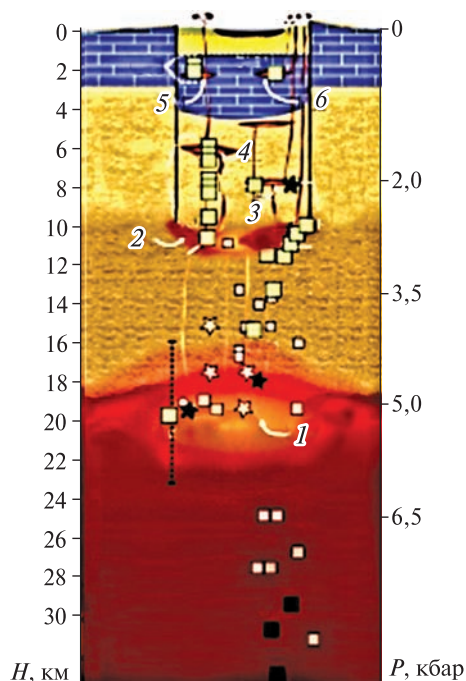


Рис. 8. Принципиальная схема формирования магмогазофлюидной системы в верхней части литосферы о-ва Десеппен, по [16], с изменениями. Цифрами (1–6) показано предполагаемое положение локальных очагов магматических расплавов

Fig. 8. Schematic diagram of the magma-gas-fluid system formation at the upper part of the Deception Island lithosphere, by [16], with changes. The numbers (1–6) show the estimated position of the local chambers with magmatic melts

Разноуровненность положения магматических очагов в разрезе коры может быть связана с особенностями режима глубинного очага и энергией импульсного поступления магмы в вулканическую постройку.

Приведенные геолого-геофизические характеристики свидетельствуют о значительной сложности и неоднородности тектонических процессов формирования и эволюции структур Тихоокеанской окраины Антарктиды, а генезис коры в проливе Брансфилд может быть связан с подъёмом мантийного вещества, расколом в осевой части пролива с образованием неовулканической зоны и формированием молодой рифтовой системы, локализованной под осью трога в Центральной котловине Брансфилд (см. рис. 3, 4).

В результате направленного на восток (со стороны Тихого океана к задуговым бассейнам Южно-Сандвичевой островной дуги) перемещения астеносферного потока в регионе создаются дополнительные мощные усилия сжатия и расширения, которые способствуют протеканию интенсивных процессов с формированием молодых рифтовых систем в условиях преобладающего регионального растяжения литосферы [8].

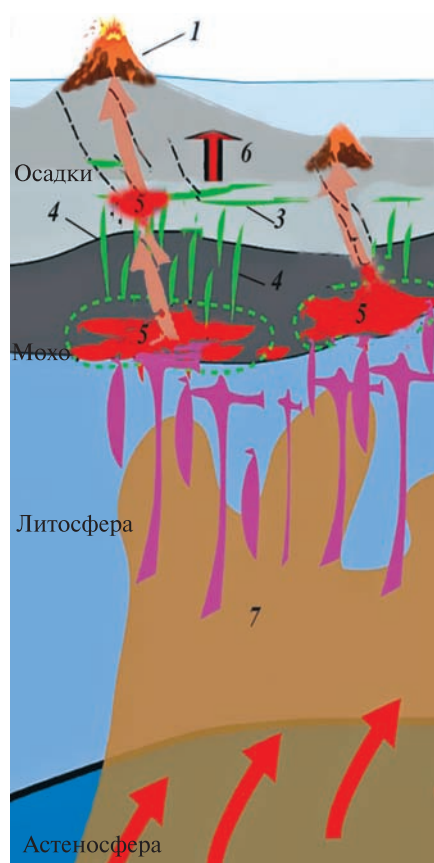


Рис. 9. Принципиальная схема формирования вулканических структур и многоуровневых магматических образований в литосфере, по [26], с изменениями: 1 — вулканы; 2 — складки сжатия; 3 — силлы; 4 — дайки; 5 — камеры с магматическими расплавами; 6 — интрузии; 7 — коромантийные породы

Fig. 9. Schematic diagram of the volcanic structures formation and multilevel magmatic melts in the lithosphere, by [26], with changes: 1 — volcanoes; 2 — folds of compression; 3 — sills; 4 — dykes; 5 — chambers with magmatic melts; 6 — intrusions; 7 — crust-mantle rocks

Региональное воздействие этого глубинного тела повлияло на распределение плотностных неоднородностей земной коры, что позволило реставрировать процессы формирования переходной зоны пролива Дрейка и оценить возможный возраст пролива Брансфилд [3].

Возраст пролива Брансфилд (26—37 млн лет), синхронный со временем обширного погружения до глубины 4—5 км структур пролива Дрейка [8] (и протяжённых участков Антарктического побережья), указывает на наличие единого регионального источника таких преобразований. Предполагается [5], что крупный блок мантийного вещества, сформировавшийся в области аномально повышенных температур, разрушил внешнюю оболочку литосферы и был выжат на поверхность. Это привело к образованию обширных полей платобазальтов между матери-

ками Южной Америки и Антарктиды [8]. В процессе их остывания происходили коренная переработка верхних слоёв земной коры и формирование трещин, заполненных вулканическими породами, возраст которых уменьшался по мере удаления от континента. Возраст линейных магнитных аномалий может отражать время остывания расплавов, выжатых на поверхность в результате периодических процессов изменения теплового режима обширных участков верхней мантии [5], а также действия мощных тектонических подвижек со стороны пограничных структур. Частично эти процессы могли иметь место в проливе Брансфилд, где спусковым механизмом для раскола в Центральной котловине и подъёма мантийного вещества мог служить отчётливо выраженный импульс расширения Земли, возраст которого составляет 25—35 млн лет [6]. Процесс раскола и формирования новой коры, с коромантийной смесью в ее верхней части, привёл к отделению Южных Шетландских островов от Антарктического полуострова. Однако этот процесс не сопровождался формированием океанической коры с системой линейных палеомагнитных аномалий. Предположение о возможном расширении Земли, продолжающемся со скоростью 1—2 см/год и в настоящее время [6], снимает необходимость применения механизма субдукции, реальность которого вызывает большие сомнения.

О результатах частотно-резонансного зондирования вулканических структур в проливе Брансфилд. Новые данные о возможной глубине магматических очагов вулканических структур Западной Антарктики и Антарктиды были получены в результате проведения в Антарктическом регионе сезонных работ УАЭ в 2018 г. [12].

Геофизические измерения на борту судна «Море Содружества» проводились с использованием мобильной прямопоисковой технологии, включающей флюксометрическую съемку, метод ВЭРЗ, а также метод частотно-резонансной обработки и интерпретации (декодирования) данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) (спутниковых снимков) и фотографий [1, 4, 12]. В модифицированных версиях методов ВЭРЗ и частотно-резонансной обработки спутниковых снимков и фотографий использовались базы (наборы, коллекции) химических элементов, минералов, пород и полезных ископаемых (частоты конкретных образцов).

Эти работы позволили получить экспериментальные (частотно-резонансные) характеристики пород для отдельных локальных вулканических построек [11, 12], а также для создания моделей глубинного строения структур региона.

Для вулканических структур пролива Брансфилд проведены глубинные зондирования вблизи о-ва Элефант и в бухте Дискавери о-ва Гринвич (рис. 10).

Использованная база данных осадочных пород состояла из следующих групп: 1) обломочные породы: псефиты, конгломераты мономинеральные (22 образца); 2) обломочные породы: псаммиты (18 образцов); 3) обломочные породы: алевролиты, аргиллиты, глины (6 образцов); 4) обломочные и глинистые породы: аргиллиты каолиновые (6 образцов); 5) обломочные породы: глинистые: глины каолиновые (10 образцов); 6) осадочно-вулканокластические породы (9 образцов); 7) карбонатные породы: известняки (24 образца); 8) карбонатные породы: доломиты (11 образцов); 9) карбонатные породы: мергели (10 образцов); 10) кремнистые породы (13 образцов); 11) соль (3 образца); 12) уголь (3 образца).

База данных магматических и метаморфических пород включала в себя 18 отдельных блоков пород: 1) группа гранитов и риолитов (29 образцов); 2) группа гранодиоритов и дацитов (7 образцов); 3) группа сиенитов и трахитов (18 образцов); 4) группа диоритов и андезитов (14 образцов); 5) породы группы лампрофиров (14 образцов); 6) группа габбро и базальтов (32 образца); 7) группа бесполовошпатовых бесфельдшпатоидных ультрамафических пород (20 образцов); 8) группа фельдшпатоидных сиенитов и фонолитов (23 образца); 9) группа фельдшпатоидных габброидов и базальтоидов (6 образцов); 10) группа бесполовошпатовых фельдшпатоидных ультрамафических и мафических пород (10 образцов); 11) группа кимберлитов и лампроитов (20 образцов); 12) несиликатные породы: группа карбонатов (8 образцов); 13) метаморфические породы группы гранулитов (10 образцов); 14) метаморфические породы группы гнейсов (26 образцов); 15) метаморфические породы группы кристаллических сланцев (44 образца); 16) метаморфические породы группы микрокристаллических сланцев (филлитов) (11 образцов); 17) метаморфизованные породы группы аспидных сланцев (2 образца); 18) железная руда (5 образцов).

Частотно-резонансные характеристики образцов из приведенной базы данных использовались как эталонные при определении структуры глубинных разрезов в пунктах зондирования. Исходная база образцов — системная, открытая для пополнения и включения в неё новых элементов.

По результатам глубинного зондирования в бухте Дискавери (о-в Гринвич, Южные Шетландские острова) вблизи о-ва Элефант (рис.10) установлено наличие в разрезе осадочных (1—6, 8-я группы) и магматических пород (11-я груп-

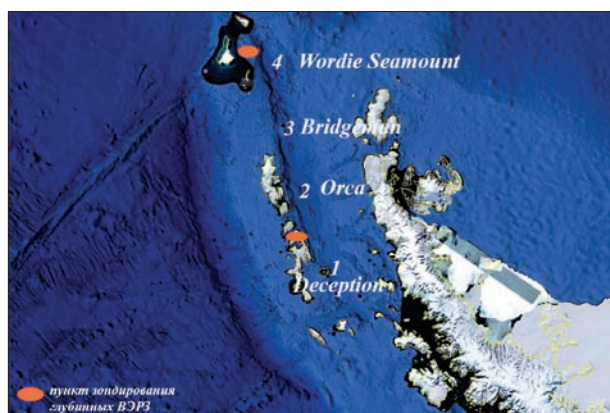


Рис. 10. Положение вулканических структур в проливе Брансфилд по данным Google Earth

Fig. 10. The Bransfield Strait volcanic structures, by Google Earth data (with VERS-points location)

па). Фиксация откликов на различных глубинах показала, что группы осадочных пород (обломочных и глинистых, вулканокластических, а также карбонатных) прослеживаются до глубины 3 км. Ниже (4—10 км) прослеживаются отклики от обломочных пород, а отклики от доломитов фиксируются на глубинах до 60 км. Слой плавления находится в интервале глубин 194—215 км, а сигнал от магматических пород (кимберлиты) прослежен на глубине 470—723 км (за исключением слоя плавления).

По результатам зондирования вблизи **о-ва Элефант** в разрезе (до глубины 45 км) преобладают осадочные и карбонатные породы (1—6, 8 и 11-я группы). Здесь выделен магматический канал и получен сигнал от глубинных углеводородов и соли.

Сравнение полученных результатов с известными сейсмическими моделями [1, 18] показало, что в разрезе о-ва Элефант залегает толща пород со скоростью распространения сейсмических волн $V = 5,8$ км/с, мощность толщи до 15 км. Такой скоростью могут характеризоваться глубинные доломиты, выявленные по результатам зондирования вблизи острова.

Структура вулкана на **о-ве Десеппиен** была изучена с помощью технологий частотно-резонансной технологии обработки и интерпретации данных ДЗЗ. В разрезе вулканической постройки (за пределами центральной части) выделены карбонатные и кремнистые осадочные породы (7—10 и 12-й групп), в центре вулкана на глубине получены отклики только на частоте карбонатных пород (группа 7).

Отклики от осадочных пород 7, 9 и 10-й групп прослежены до глубины примерно 215 км в слое расплавленных пород, а от пород 8-й группы (доломиты) — 470 км.

В глубинной частотно-резонансной характеристике разреза о-ва Десеппшен выделены сигналы нефти, конденсата и газа (до глубины 57 км).

На схематических разрезах [18] о-ва Десеппшен породы с $V = 4,0\text{--}6,6$ км/с расположены на глубинах свыше 15—17 км, что косвенно подтверждает возможное наличие карбонатных пород на больших глубинах.

В результате частотно-резонансной технологии обработки и интерпретации данных ДЗЗ для отдельных локальных структур и объектов района исследований были также получены данные об элементном (химическом) составе пород, а также о суммарном элементном составе пород о-ва Десеппшен, где выявлен широкий спектр (более 80) элементов пород острова.

Ранее для пород о-ва Десеппшен были получены количественные характеристики [9] элементного состава (более 30 элементов). Результаты дистанционного определения элементного (химического) состава могут быть важным и дополнительным аргументом при оценке глубины формирования, генезиса структур и их перспективности на скопления полезных ископаемых [12].

С помощью технологий частотно-резонансной технологии обработки и интерпретации данных ДЗЗ были также изучены подводные вулканы пролива Брансфилд (рис.10).

Для *вулкана Орка* (№ 2, рис.10) получены сигналы от осадочных (известняки, доломиты) пород (группы 7, 8). Отклики от 7-й группы пород (известняки) прослежены от интервала 400—450 м до глубины 222 км (в слое плавления).

Для *вулкана Бриджмен* (№ 3, рис.10) получены отклики от осадочных пород (группы 1—5,6) вплоть до глубины 215 км в слое плавления. Отклики от нефти, конденсата и газа получены до глубины 57 км.

В глубинном разрезе (вплоть до глубины 215 км в слое плавления) вулкана *Wordie Seamount* (№ 4, рис.10) преобладают карбонатные и кремнистые осадочные образования (группы 9,10).

Обсуждение результатов. Результаты исследований отдельных структур северной вулканической ветви Западной Антарктики показывают существование сложной магнезогазофлюидной системы, состоящей из серии коровых магматических камер (глубина ≤ 10 км), питаемых магмами, поднявшимися из зоны их накопления на границе земной коры и мантии (глубина 25—30 км)

или непосредственно из мантии. Материалы глубинного частотно-резонансного зондирования разрезов показывают, что корни многих вулканов располагаются в расплавленном слое пород на глубине 194—215 км и более. В отдельных случаях можно предполагать, что эта зона расплава может «прорываться» породами более глубоких каналов миграции флюидов и минерального вещества. Наличие глубинных корней вулканических структур может быть связано с импульсным функционированием проникающего сквозь мантию газофлюидного канала с пониженной вязкостью, по которому поднимаются и формируются газонасыщенные расплавы на глубинах промежуточной кристаллизации.

Для надводных и подводных вулканических построек пролива Брансфилд по результатам глубинного зондирования и применения технологий частотно-резонансной технологии обработки и интерпретации данных ДЗЗ выявлены закономерности их строения и получены первые данные о глубинных каналах миграции флюидов.

Применение новой мобильной технологии при поисках и локализации участков скопления минералов и химических элементов (в том числе редкоземельных) эффективно в различных структурах Мирового океана. Исследования могут проводиться в комплексе с методом поисков глубинных каналов миграции флюидов, минерального вещества и химических элементов. Показано, что каналы с различной глубиной формирования по данным частотно-резонансных исследований заполнены базальтами, кимберлитами, ультрамафическими породами, а также различными группами осадочных пород.

Согласно исследованиям, в формировании тектонического разнообразия и эволюции структур континентальных окраин Антарктического региона существенная роль принадлежит многофазной импульсной вулканической деятельности, преимущественно через вертикальные каналы миграции глубинных флюидов и минерального вещества.

Результаты изучения магматических систем вулканических структур пролива Брансфилд свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших исследований для познания механизмов формирования и эволюции отдельных структур и глубинных геосфер в различных регионах Земли.

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. Бахмутов В.Г., Третьяк К.Р., Максимчук В.Ю. та ін. Структура і динаміка геофізичних полів у Західній Антарктиці. Львів: Львівська політехніка. 2017. 336 с.
2. Дубинин Е.П., Кохан А.В., Сушевская Н.М. Тектоника и магматизм ультрамедленных спрединговых хребтов. *Геотектоника*. 2013. № 3. С. 3—30. DOI: 10.7868/S0016853X13030028

3. Козленко Ю.В., Козленко М.В. Применение плотностного моделирования для решения вопроса о природе пролива Брансфилд. *Геофизический журнал*. 2011. Т. 33, № 4. С. 142—152.
4. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований. *Геофизический журнал*. 2012. Т. 34, № 4. С. 167—176.
5. Ромашов А.Н. Планета Земля: тектонофизика и эволюция. Москва: Ин-т динамики геосфер РАН. 2003. 261 с.
6. Скляр А. Сенсационная история Земли. Москва, 2011. 288 с.
7. Тетерин Д.Е. Геодинамическая эволюция пролива Дрейка в постмиоценовое время, Западная Антарктика, Южный океан. *Физика Земли*. 2011. № 8. С. 3—19.
8. Удинцев Г.Б., Береснев А.Ф., Куренцова и др. Пролив Дрейка и море Скоша — океанские ворота Западной Антарктики. Строение и история развития литосферы. Москва: Paulsen, 2010. С. 66—90.
9. Шнюков С., Лазарева И., Хлонь О. и др. Модель формирования вулканических и морских вулканогенно-осадочных образований острова Десеппен (Западная Антарктика): исходные данные для моделирования. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2013. Т. 9, № 1. С. 44—65.
10. Шрейдер Ал.А., Шрейдер А.А., Галиндо-Зальдивар Х. и др. Строение коры пролива Брансфилд. *Океанология*. 2015. Т. 55, № 1. С. 126—138.
11. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Интегральная оценка структуры некоторых вулканов и кимберлитовых трубок Земли. *Геоинформатика*. 2019. № 1. С. 28—38.
12. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Бахмутов В.Г., Соловьев В.Д. Геофизические исследования в Украинской морской антарктической экспедиции 2018 г: мобильная измерительная аппаратура, инновационные прямопоисковые методы, новые результаты. *Геоинформатика*. 2019. № 1. С. 5—27.
13. Якимчук Н.А. Электрическое поле и его роль в жизни Земли. *Геоинформатика*. 2014. № 3. С. 10—20.
14. Berrocoso M., Fernández-Ros. A., Prates, G. et al. Geodetic implications on block formation and geodynamic domains in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. *Tectonophysics*. 2016. Vol. 666. P. 211—219.
15. Catalan M., Galindo-Zaldivar J., Davila J.M. et al. Initial stages of oceanic spreading in the Bransfield Rift from magnetic and gravity data analysis. *Tectonophysics*. 2013. Vol. 585. P.102—112.
16. Geyer A., Álvarez-Valero A.M., Gisbert G. et al. Deciphering the evolution of Deception Island's magmatic System. *Scientific Reports*. 2019. № 9.
17. Haeger C., Kaban M., Tesauro M. 3-D Density, Thermal, and Compositional Model of the Antarctic Lithosphere and Implications for Its Evolution. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2019. Vol. 20, iss. 2. P. 688—707. doi.org/10.1029/2018GC008033
18. Janik T., Grad M., Guterch A., Środa P The deep seismic structure of the Earth's crust along Antarctic Peninsula — A summary of the results from polish geodynamical expeditions. *Global and Planetary Change*. 2014. http:// dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha. 2014.08.018
19. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. et al. Geophysical models of Drake Passage and Bransfield Strait crustal structure. *Ukrainian Antarctic Journal*. 2008. № 6, pp. 9—14.
20. Lodolo E., Perez L. F. An abandoned rift in the southwestern part of the South Scotia Ridge (Antarctica): Implications for the genesis of the Bransfield Strait. *Tectonics*. 2015. 34.DOI:10.1002/2015TC004041
21. Pedrera A., Ruiz-Consta A., Heredian N. The fracture system and the melt emplacement beneath the Deception Island active volcano, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science*. 2012. Vol. 24(2). P. 173—182 DOI: 10.1017/S0954102011000794
22. Prudencio J., Siena L.D., Garcia-Yeguas A. et al. The 3D Attenuation Structure of Deception Island (Antarctica). *Surveys in Geophysics*. 2015. Vol. 36 (3). P. 371—390. DOI: 10.1007/s10712-015-9322-6
23. Soloviev V., Korchagin I., Levashov S. et al. Central Basin of the Bransfield Strait: magnetic anomalies and the formation stages of the Antarctic Peninsula continental margin structures. 2016, 15th EAGE International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects. DOI: 10.3997/2214-4609.201600452.
24. Steig Eric J., Schneider David P., Rutherford Scott D. et al. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature*. 2009. Vol. 457|22 January. P. 459—462. DOI:10.1038/nature07669
25. Vries M.V.W., Bingham R. G., Hein A. S. A new volcanic province: an inventory of subglacial volcanoes in West Antarctica Geological Society. London: Special Publications, 2017. Vol. 461. P. 231—248. https://doi.org/10.1144/SP461.7
26. Xia S., Zhao F., Zhao D. et al. Crustal plumbing system of postrift magmatism in the northern margin of South China Sea: New insights from integrated seismology. *Tectonophysics*. 2018. Vol.744, iss.2. P. 227—238. DOI:10.1016/j.tecto.2018.07.002
27. Zandomenighi D., Barclay A., Almendros J. et al. Crustal structure of Deception Island volcano from P- wave seismic tomography: Tectonic and volcanic implications. *JGR*. 2009.Vol. 114. B06310, doi:10.1029/2008JB006119

Поступила в редакцию 20.02.2020 г.

REFERENCES

1. Bahmutov V.G., Tretyak K.R., Maksimchuk V.Yu. ta in. Struktura i dinamika geofizichnih poliv u Zahidnij Antarktici. Lviv: Lvivska politehnika. 2017. 336 s.
2. Dubinin E.P., Kohan A.V., Sushevskaya N.M. Tektonika i magmatizm ultramedlennyh spredingovyh hrebtov. *Geotektonika*. 2013. № 3. S. 3-30. DOI: 10.7868/S0016853X13030028
3. Kozlenko Yu.V., Kozlenko M.V. Primenenie plotnostnogo modelirovaniya dlya resheniya voprosa o prirode proliva Bransfild. *Geofizicheskij zhurnal*. 2011. T. 33, No. 4. S. 142-152.
4. Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N. Chastotno-rezonansnyj princip, mobilnaya geoelektricheskaya tehnologiya: novaya paradigma geofizicheskikh issledovaniy. *Geofizicheskij zhurnal*. 2012. T. 34, No. 4. S. 167-176.

5. Romashov A.N. Planeta Zemlya: tektonofizika i evolyuciya. Moskva: In-t dinamiki geosfer RAN. M. 2003. 261 s.
6. Sklyarov A. Sensacionnaya istoriya Zemli. Moskva, 2011. 288 s.
7. Teterin D.E. Geodinamicheskaya evolyuciya proliva Drejka v postmiocenovoe vremya, Zapadnaya Antarktika, Yuzhnyy okean. *Fizika Zemli*. 2011. No. 8. S. 3-19.
8. Udincev G.B., Beresnev A.F., Kurencova i dr. Proliv Drejka i more Skosha — okeanskie vorota Zapadnoj Antarktiki. Stroenie i istoriya razvitiya litosfery. Moskva: Paulsen, 2010. S. 66-90.
9. Shnyukov S., Lazareva I., Hlon O. i dr. Model formirovaniya vulkanicheskikh i morskikh vulkanogenno-osadochnykh obrazovaniy ostrova Desepshen (Zapadnaya Antarktika): ishodnye dannye dlya modelirovaniya. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2013. T. 9, No. 1. S.44-65.
10. Shrejder Al.A., Shrejder A.A., Galindo-Zaldivar H. i dr. Stroenie kory proliva Bransfild . *Okeanologiya*. 2015. T. 55, No. 1. S. 126-138.
11. Yakimchuk N.A., Korchagin I.N. Integralnaya ocenka struktury nekotorykh vulkanov i kimberlitovykh trubok Zemli. *Geoinformatyka*. 2019. No. 1. S. 28-38.
12. Yakimchuk N.A., Korchagin I.N., Bahmutov V.G., Solovov V.D. Geofizicheskie issledovaniya v Ukrainской morskoy antarkticheskoy ekspedicii 2018 g.: mobilnaya izmeritel'naya apparatura, innovacionnye pryamopoiskovye metody, novye rezultaty. *Geoinformatyka*. 2019. No. 1. S. 5-27.
13. Yakimchuk N.A. Elektricheskoe pole i ego rol v zhizni Zemli. *Geoinformatyka*. 2014. No. 3. S. 10-20.
14. Berrocoso M., Fernández-Ros.A.; Prates, G. et al. Geodetic implications on block formation and geodynamic domains in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. *Tectonophysics*. 2016. Vol. 666. P. 211-219.
15. Catalan M., Galindo-Zaldivar J., Davila J.M. et al. Initial stages of oceanic spreading in the Bransfield Rift from magnetic and gravity data analysis. *Tectonophysics*. 2013. Vol. 585. pp. 102-112.
16. Geyer A., Álvarez-Valero A.M., Gisbert G. et al. Marti Deciphering the evolution of Deception Island's magmatic System. *Scientific Reports*. 2019. № 9.
17. Haeger C., Kaban M., Tesauro M. 3-D Density, Thermal, and Compositional Model of the Antarctic Lithosphere and Implications for Its Evolution. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2019. Vol. 20, iss. 2. P. 688-707. doi.org/10.1029/2018GC008033
18. Janik T., Grad M., Guterch A., Środa P The deep seismic structure of the Earth's crust along Antarctic Peninsula — A summary of the results from polish geodynamical expeditions. *Global and Planetary Change*. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.08.018>
19. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. et al. Geophysical models of Drake Passage and Bransfield Strait crustal structure. *Ukrainian Antarctic Journal*. 2008. No. 6, P. 9-14
20. Lodolo E., Perez L. F. An abandoned rift in the southwestern part of the South Scotia Ridge (Antarctica): Implications for the genesis of the Bransfield Strait. *Tectonics*. 2015. 34. DOI:10.1002/2015TC004041.
21. Pedrera A., Ruiz-Consta A., Heredian N. The fracture system and the melt emplacement beneath the Deception Island active volcano, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarctic Science*. 2012. Vol. 24(2). P. 173-182. DOI: 10.1017/S0954102011000794
22. Prudencio J., Siena L.D., Garcia-Yeguas A. et al. The 3D Attenuation Structure of Deception Island (Antarctica). *Surveys in Geophysics*. 2015. Vol.36(3). P. 371-390. DOI: 10.1007/s10712-015-9322-6
23. Soloviev V., Korchagin I., Levashov S. et al. Central Basin of the Bransfield Strait: magnetic anomalies and the formation stages of the Antarctic Peninsula continental margin structures. 2016, 15th EAGE International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects. DOI: 10.3997/2214-4609.201600452.
24. Steig Eric J., Schneider David P., Rutherford Scott D. et al. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature*. 2009. Vol. 457|22 January. P. 459-462. DOI:10.1038/nature07669
25. Vries M.V.W., Bingham R. G., Hein A. S. A new volcanic province: an inventory of subglacial volcanoes in West Antarctica Geological Society. London: Special Publications, 2017. Vol. 461. P. 231-248,. <https://doi.org/10.1144/SP461.7>
26. Xia S., Zhao F., Zhao D. et al. Crustal plumbing system of postrift magmatism in the northern margin of South China Sea: New insights from integrated seismology. *Tectonophysics*. 2018. Vol. 744, iss.2. P. 2 27-238. DOI:10.1016/j.tecto.2018.07.002
27. Zandomenighi D., Barclay A., Almendros J. et al. Crustal structure of Deception Island volcano from P- wave seismic tomography: Tectonic and volcanic implications. *JGR*. 2009. Vol. 114. B06310, doi:10.1029/2008JB006119

Receive 20.02.2020

В.Д. Соловйов¹, В.Г. Бахмутов¹, М.А. Якимчук², І.М. Корчагин¹

¹ Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
просп. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна,
e-mail: solvalera@ukr.net

² Інститут прикладних проблем екології, геофізики і геохімії,
пров. Лабораторний, 1, м. Київ, 01133, Україна,
e-mail: yakymchuk@gmail.com

ГЛИБИННА СТРУКТУРА І НОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ЩОДО ВУЛКАНІВ ПРОТОКИ БРАНСФІЛД (ЗАХІДНА АНТАРКТИКА)

Для окремих структур північної вулканічної гілки Західної Антарктики у протоці Брансфілд показано існування складної магмофлюїдної системи, що складається із серії різнорівневих корових магматичних камер, які живляться із зони накопичення на межі земної кори і мантії (глибина 25—30 км), а також магмами, що піднімаються безпосередньо з верхньої мантії. Згідно з матеріалами глибинного частотно-резонансного зондування розрізів, корені

багатьох вулканів розміщуються у розплавленому шарі порід на глибині 194–215 км й більше. В окремих випадках цю зону розплаву можуть «проривати» породи глибших каналів міграції флюїдів і мінеральної речовини. Наявність глибинних коренів вулканічних структур може бути пов'язана з імпульсним функціонуванням газофлюїдного каналу зі зниженою в'язкістю, що проникає крізь мантію, внаслідок чого піднімаються газонасичені розплави на глибинах проміжної кристалізації. За результатами глибинного зондування і застосування технологій частотно-резонансної технології обробки та інтерпретації даних дистанційного зондування Землі виявлено закономірності будови земної кори і отримано дані щодо глибинних каналів міграції флюїдів, мінералів і хімічних елементів у протоці Брансфилд. Канали з різною глибиною формування за даними частотно-резонансних досліджень заповнені базальтами, ультрамафічними породами, а також різними групами осадових порід. Широкий спектр порід, глибинних флюїдів, мінеральних речовин і хімічних елементів може асоціюватися і бути обґрунтованим з позиції процесів водневої дегазації Землі. Результати вивчення магматичних систем вулканічних структур протоки Брансфилд свідчать про необхідність проведення подальших досліджень для пізнання механізмів формування та еволюції окремих структур і глибинних геосфер у різних регіонах Землі.

Ключові слова: *Західна Антарктика, протока Брансфилд, глибинна будова, острів Десеппен, підводні вулкани, прямі пошуки, мобільна технологія, обробка даних дистанційного зондування Землі, інтерпретація.*

V.D. Soloviev¹, V.G. Bakhmutov¹, N.A. Yakymchuk², I.N. Korchagin¹

¹ Institute of Geophysics, NAS of Ukraine,
Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine,
e-mail: solvalera@ukr.net

² Institute of Applied Problems of Ecology, Geophysics and Geochemistry,
1, Laboratorny Lane, Kyiv, 01133, Ukraine,
e-mail: yakymchuk@gmail.com

DEEP STRUCTURE AND NEW EXPERIMENTAL DATA ON THE VOLCANOES OF THE BRANSFIELD STRAIT (WEST ANTARCTICA)

Purpose. The results of the mobile direct-prospecting technology using for frequency resonance processing of satellite images of certain structures of the West Antarctica are shown. The complex magma-fluid system at the northern volcanic branch in the Bransfield Strait existence is proposed. These reconnaissance investigations were carried out for some inland and submarine volcanic structures in the northern part of the West Antarctica region near the Antarctic Peninsula.

Design/methodology/approach. The mobile technology includes modified methods of frequency-resonance processing and decoding of satellite images and vertical electric-resonance sounding (scanning) of the cross-sections. The direct-prospecting technology methods are based on the principles of the «substance» paradigm of geophysical research with the specific substance searching.

Findings. Existence of a complex magma-gas-fluid system in some structures of the northern volcanic branch in the Bransfield Strait (West Antarctica) is shown. It consists of several different-level deep magma chambers with magmas that raised directly from the mantle or from the accumulation zone located at the boundary of the earth's crust and mantle (depth 25-30 km). Materials of deep frequency-resonance sounding show that the roots of many volcanoes are located in the molten rock layer at a depth of 194-215 km and more. The deep roots of volcanic structures presence can be associated with the pulsed functioning of a gas-fluid channel with a low viscosity. Obtained results reveal that the gas-saturated melts form some zones of intermediate crystallization in the crust due to this channel. Certain structural patterns for inland and submarine volcanic structures are revealed and the first data on the deep migration channels of fluids in the Bransfield Strait are obtained. According to the data of frequency resonance studies, channels with different formation depths are filled with basalts, ultramafic rocks and various groups of sedimentary rocks.

The characteristic responses for a wide range of rocks, deep fluids, minerals and chemical elements in the migration channels can be associated and justified from of the Earth's hydrogen degassing position.

The practical significance and conclusions Multiphase pulsed volcanic activity mainly through the vertical migration channels of deep fluids from the melting zone, located in the depth interval 194-215 km, played a significant role in the formation of tectonic diversity and the structures of the Antarctic continental margins evolution. The experimental researches results show that the mobile direct prospecting technology of satellite images frequency-resonance processing can be used to study the volcanoes deep structure and genesis. These results of the Bransfield Strait magmatic systems studying indicate the need for further research to understand the mechanisms of formation and evolution of structures and deep geosphere in different regions of the Earth.

Keywords. *Western Antarctica, Bransfield Strait, deep structure, Deception, underwater volcanoes, direct searches, mobile technology, remote sensing data processing, interpretation.*