

© В.Д. Соловьев¹, В.Г. Бахмутов¹, Ю.В. Козленко¹,
И.Н. Корчагин¹, С.П. Левашов², Н.А. Якимчук², 2008

УДК 550.838

¹Институт геофизики НАН Украины, г. Киев

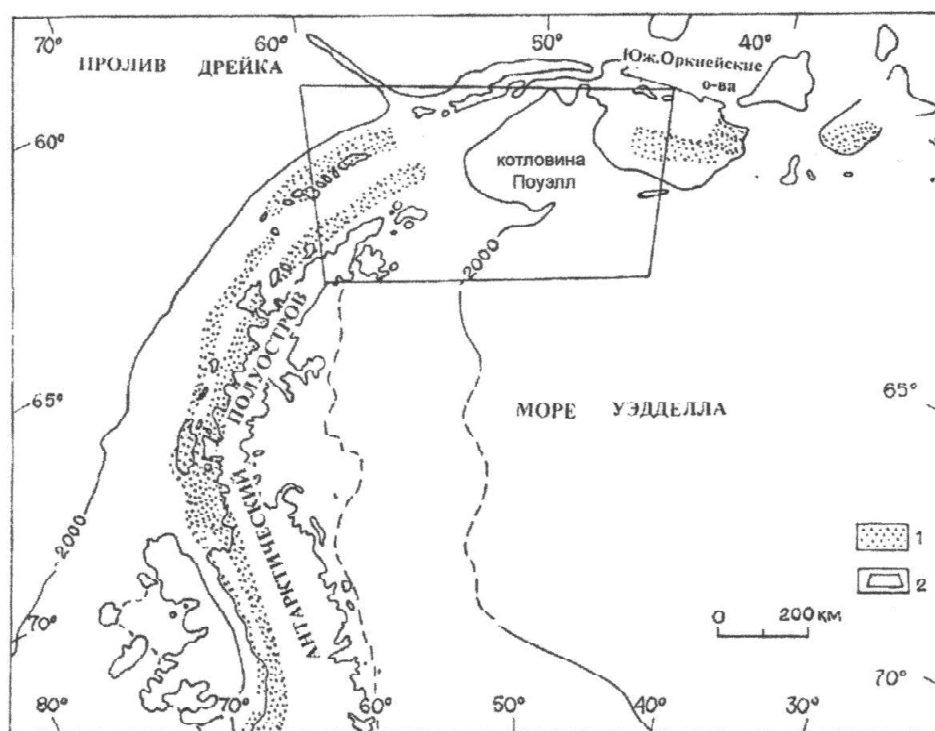
²Институт прикладных проблем экологии,
геофизики и геохимии, г. Киев

МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЮЖНОГО ХРЕБТА СКОША И КОТЛОВИНЫ ПОУЭЛЛ (ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА)

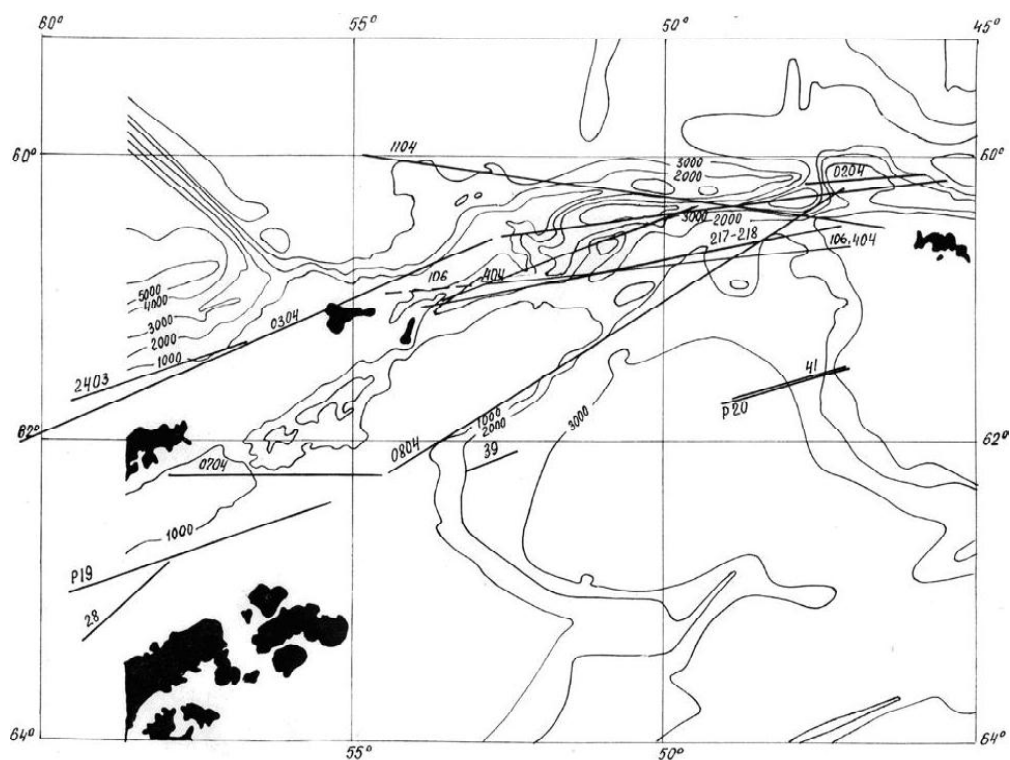
Геофизические исследования, выполненные во время морских экспедиций Национального антарктического центра Украины, позволили получить новые данные о распределении геофизических полей над разными структурами вблизи Антарктического полуострова – мезокайнозойской вулканической дуги, сформированной на древней докембрийской континентальной коре. Эти материалы были использованы для уточнения возраста формирования отдельных блоков, выделения локальных неоднородностей земной коры и получения информации о состоянии и мощности земной коры проливов Дрейка и Брансфилда, структур побережья Антарктического полуострова [1].

Отметим, что центральная часть пролива Брансфилда на современном этапе геодинамического развития напоминает область регионального растяжения, где формируются системы тектонических нарушений, связанные с особенностями взаимодействия плит региона. Активные и разноплановые тектонические процессы содействовали широкому развитию в структурах региона мезокайнозойского вулканизма разного типа. Это уникальная область развития молодых тектоно-геодинамических процессов возрастом 2,5 – 4,0 млн лет, сопровождающихся формированием многочисленных вулканических поднятий и хребтов, в условиях значительных структурных превращений структур пролива и интенсивных процессов рифтообразования, мигрирующих в юго-западном направлении [2].

Рассмотрим новые геофизические данные о распределении магнитных аномалий и коровых неоднородностей в структурах дна, расположенных к северо-востоку от Антарктического полуострова, где важными тектоническими элементами северной границы Антарктической плиты являются: восточная часть пролива Брансфилда, котловина Пуэлла, Южный хребет Скоша, блок Южно-Оркнейских островов (рис. 1).



a



б

Рис. 1. Схематическая карта северо-восточного сектора Антарктического полуострова (*a*) и схема расположения основных галсов геофизической съемки в 60-м и 61-м рейсах НИС «Эрнст Кренкель» (*б*): 1 – положение Тихоокеанской окраинной магнитной аномалии [3, 4]; 2 – район исследований

Котловина Поуэлл расположена между северо-восточным окончанием Антарктического полуострова и Южно-Оркнейским микроконтинентом. Изучение котловины представляет особый интерес, поскольку она граничит с континентальным блоком Южных Оркнейских островов, а ее северная часть является пограничной областью между Антарктической плитой и плитой Скоша. Определение особенностей глубинного строения, эволюции и геодинамики этой структуры важно для изучения этапов формирования и эволюции тектонических элементов всего региона Западной Антарктики.

С геологической точки зрения процессы формирования структур плиты Скоша тесно связаны между собой, при этом наиболее древние магнитные аномалии пролива Дрейка имеют возраст не более 29 млн лет [4, 5].

Распределение датированных линейных аномалий пролива свидетельствует о длительных процессах субдукции, происходивших вдоль Тихоокеанского побережья Антарктического полуострова в кайнозое. Предполагается, что в настоящее время процессы поглощения древней океанической коры Тихого океана происходят лишь в Южно-Шетландском желобе, где по некоторым признакам выделяется область активной континентальной окраины.

Морфология магнитного поля котловины во многом определяется тем, что Южный хребет Скоша и котловина Поуэлл являются основными тектоническими структурами, формирующими границу между плитой Скоша и Антарктической плитой в этом районе.

Наиболее характерная особенность распределения магнитных аномалий в северной части котловины Поуэлл – наличие протяженной зоны повышенных значений магнитного поля, выделенной по данным аэромагнитных съемок и известной как Тихоокеанская окраинная магнитная аномалия (ТОМА) или Магнитная аномалия Западного побережья (МАЗП) [3, 4].

Эта протяженная аномальная зона севернее Антарктического полуострова разделяется на несколько сегментов, каждый из которых отличается своими морфологическими особенностями и имеет отдельное название:

- Южно-Шетландская магнитная аномалия, расположенная к северу от одноименных островов;
- магнитная аномалия Южного хребта Скоша, которая начинается в северной части пролива Брансфилда и продолжается в окраинной зоне котловины Поуэлл;
- магнитная аномалия Южно-Оркнейского блока.

Ширина указанной зоны, вытянутой вдоль Тихоокеанского побережья Антарктического полуострова, составляет около 100 км, а амплитуды аномалий превышают 1000 нТл. Аномалии фиксируют наличие двух ветвей ТОМА к северо-востоку от о-ва Аделаида: одна из них протягивается вдоль Южных

Шетландских островов, а вторая располагается вдоль побережья Антарктического полуострова. Единые у о-ва Аделаида, ветви постепенно расходятся в пространстве, на самое большое расстояние они удалены в проливе Брансфилда, где, вероятно, происходили масштабные процессы раскрытия бассейна (рис.1).

Западная ветвь, где интенсивность магнитных аномалий достигает 500–1500 нТл, моделируется телом шириной 30–50 км. Восточная ветвь имеет несколько другие параметры: интенсивность аномалий 500–900 нТл, ширина – 50–70 км.

Достаточно уверенно можно говорить о том, что источником интенсивных магнитных аномалий этих зон являются магнитоактивные тела, приуроченные к мощному и протяженному батолитовому комплексу, образующему мезокайнозойскую магматическую дугу, которая сформирована основными породами [4]. Отдельные интрузии, связанные с батолитом, поднимаются с глубины порядка 15 км и образуют локальные формы, четко отражающиеся в магнитном поле. Выполненное нами ранее моделирование магнитных и гравитационных аномалий вдоль профиля, пересекающего ТОМА, показало, что породы, формирующие батолит, могут иметь плотность 2,7 г/см³ и залегать на глубинах до 15 км. Данные об изотопном возрасте пород, слагающих батолит, указывают на наличие нескольких фаз его формирования, наиболее древняя из которых, позднеюрская, связана с процессами распада суперконтинента Гондвана. Раннекайнозойская интрузивная фаза могла быть обусловлена процессами внутреннедугового расширения и субдукции вдоль северного побережья Антарктического полуострова.

Последняя, позднекайнозойская, фаза внедрения батолита, вероятно, вызвана процессами формирования пролива Брансфилда, а также влиянием резких изменений скорости субдукции в районе Южных Шетландских островов [3].

Определение возможного продолжения ветвей ТОМА в район котловины Пууэлл и Южных Оркнейских островов позволяет уточнить процессы геологической эволюции этого региона.

Проведенные в рейсах НИС «Эрнст Кренкель» исследования, хотя и не имели четкой геофизической направленности, все же дали возможность дополнить имеющиеся представления о распределении потенциальных полей над основными структурами региона. Существенно важным оказалось проведение площадных работ в районе Южных Оркнейских островов, где такие исследования были выполнены впервые.

Результаты интерпретации линейных магнитных аномалий в котловине Джейн, расположенной к востоку от впадины Пууэлл вблизи Южно-Оркнейского микроконтинента, показали, что здесь выделяются аномалии возрастом 14,4–19,5 млн лет [5]. Эти магнитные аномалии также могут быть связа-

ны с наличием глубинного батолита, возможно, существующего на месте древней дуги, где проходил процесс поглощения океанической коры моря Уэдделла. Возможность такого процесса подтверждают данные о возрасте формирования молодой океанической коры в задуговой системе котловины Джейн.

Измерения, выполненные над Южным хребтом Скоша, показали, что для этой структуры характерно разнообразие распределения магнитных аномалий в различных его сегментах (рис. 2).

К северо-западу от котловины Пуэрто-Анхели аномалии над Южным хребтом Скоша составляют 100 – 150 нТл, вблизи северной границы котловины они нередко превышают 500 нТл, достигая значений 1000 нТл и больше (рис. 3, 4).

Модельные расчеты, выполненные для отдельных профилей, пересекающих эту структуру, показали (см. рис. 2–4), что источники аномалий имеют глубину до 15 км. В то же время над смежными участками магнитное поле резко выполаживается, а глубина источников не превышает 5–10 км.

Характерной особенностью распределения магнитных аномалий над различными сегментами Южного хребта Скоша является наличие интенсивных максимумов только в его южной части. На всех изученных профилях северная часть этого хребта очень слабо проявляется в магнитном поле, что дает основание предполагать не только отсутствие магнитоактивных источников, но и возможное различие литологического состава. Возможно, земная кора в северной части хребта сложена не основными породами, а более кислыми или метаморфическими, подобными тем, которые обнажаются на островах Элефант и Кларенс [4].

Результаты проведенной интерпретации магнитных аномалий согласуются с предположением о том, что Южный хребет Скоша и смежные

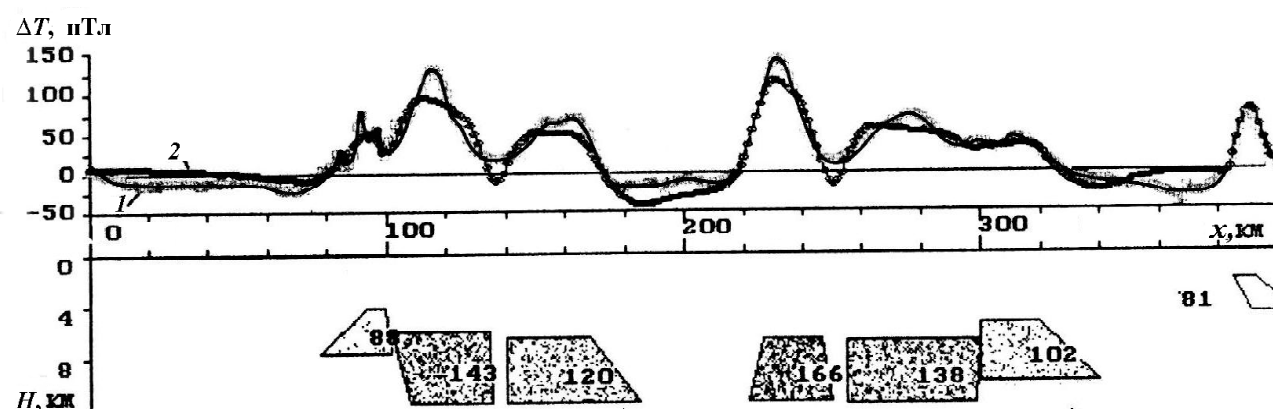


Рис. 2. Аномальное магнитное поле и результаты формального автоматизированного подбора параметров магнитовозмущающих источников вдоль галса 0304: 1, 2 — соответственно наблюдаемое и модельное поля вдоль галса. Цифры — значения интенсивности намагничения (в единицах 10^{-5} СГСМ). Положение профиля см. на рис. 1, б

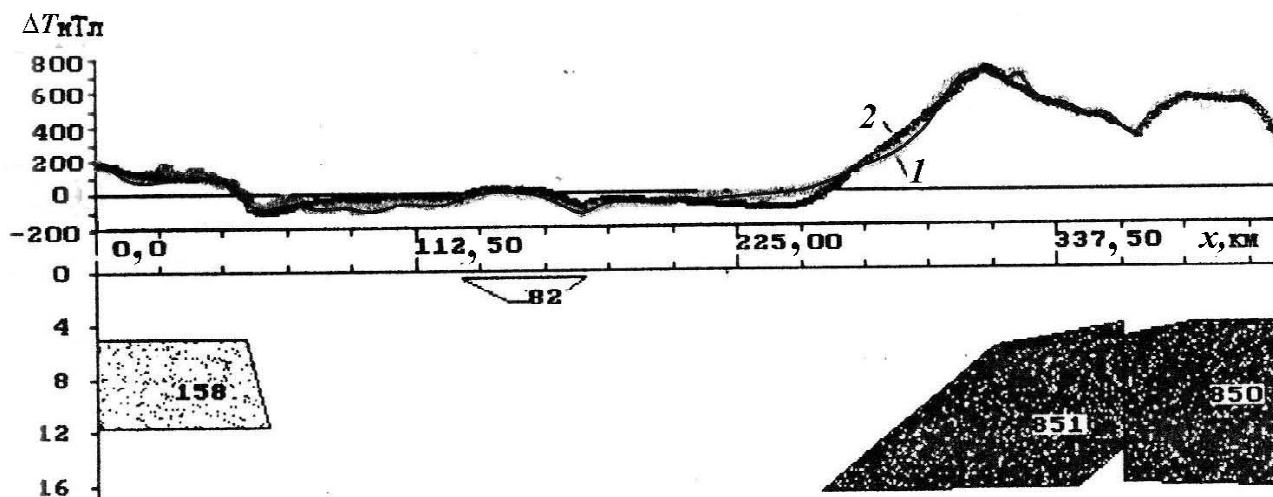


Рис. 3. Аномальное магнитное поле и результаты формального автоматизированного подбора параметров магнитовозмущающих источников вдоль галса 0404. Условные обозначения см. на рис. 2.

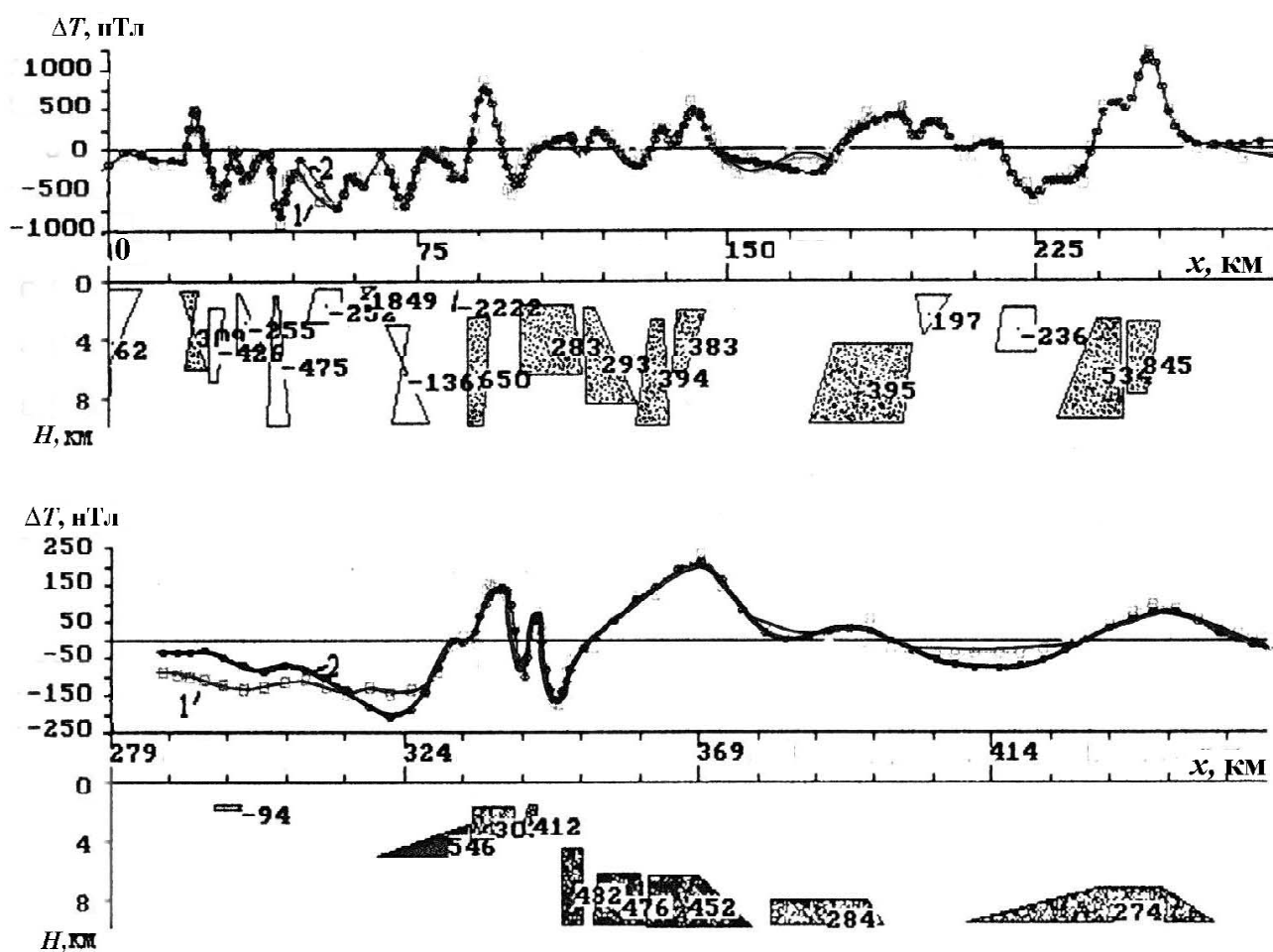


Рис. 4. Аномальное магнитное поле и результаты формального автоматизированного подбора параметров магнитовозмущающих источников вдоль галса 0804. Условные обозначения см. на рис. 2.

структуры дна состоят из серии эшелонированных локальных горстов и грабен с мозаичной, от континентальной до океанической, корой.

Обобщение имеющихся результатов съемок в котловине Пууэлл показало, что структура магнитного поля западной и восточной частей котловины достаточно четко различается – аномалии западной части более интенсивны и локализованы в пространстве.

Интенсивность магнитных аномалий здесь составляет 1000 нТл и более, а самые характерные максимумы поля прослеживаются на значительные расстояния, маркируя протяженную зону повышенных значений шириной порядка 50 км. В центральной части котловины Пууэлл аномалии имеют более сглаженную форму и, как правило, меньшую интенсивность (рис. 4, 5).

При рассмотрении результатов формальной интерпретации магнитных данных обращает на себя внимание достаточно широкий диапазон полученных значений намагниченности источников магнитных аномалий в консолидированном фундаменте Южного хребта Скоша и котловины Пууэлл. Такие вариации намагниченности в значительной мере отражают различные условия формирования и дальнейших преобразований ферромагнитных минералов в породах тектонических структур региона.

Представленные результаты формальной интерпретации магнитных данных показывают четкую связь магнитоактивных тел с поверхностью консолидированного фундамента, положение которого в котловине Пууэлл определено по материалам сейсмических исследований [3].

Проведенная формальная интерпретация материалов магнитных съемок (галсы 304, 404, P20 и др.), а также результаты расчетов, выполненных

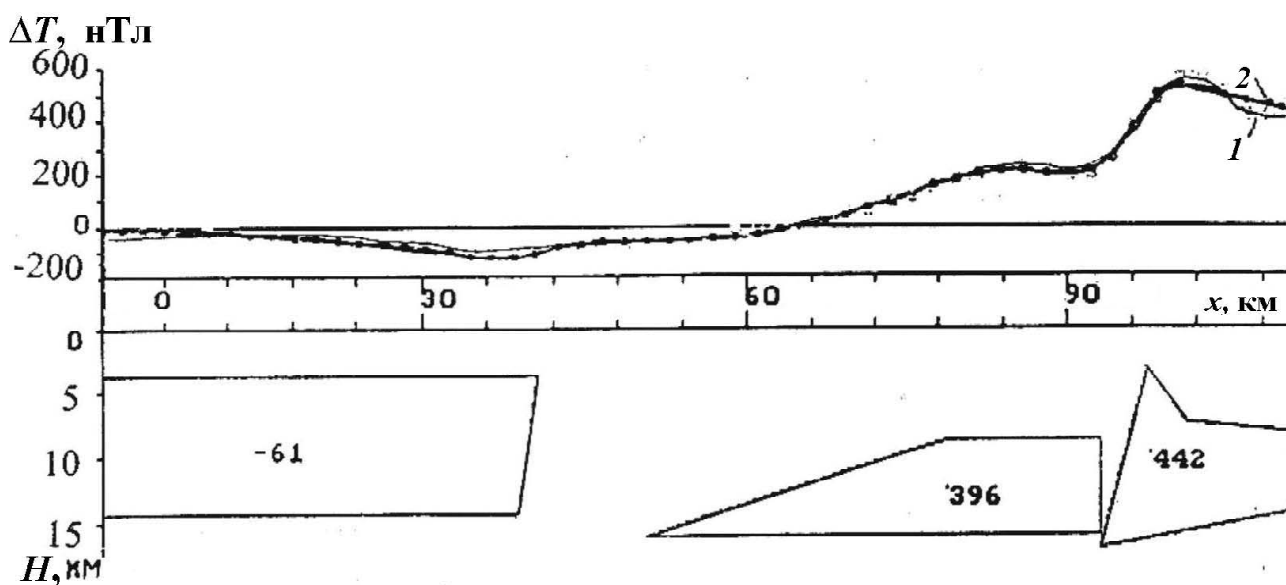


Рис. 5. Аномальное магнитное поле и результаты формального автоматизированного подбора параметров магнитовозмущающих источников вдоль галса P20. Условные обозначения см. на рис. 2

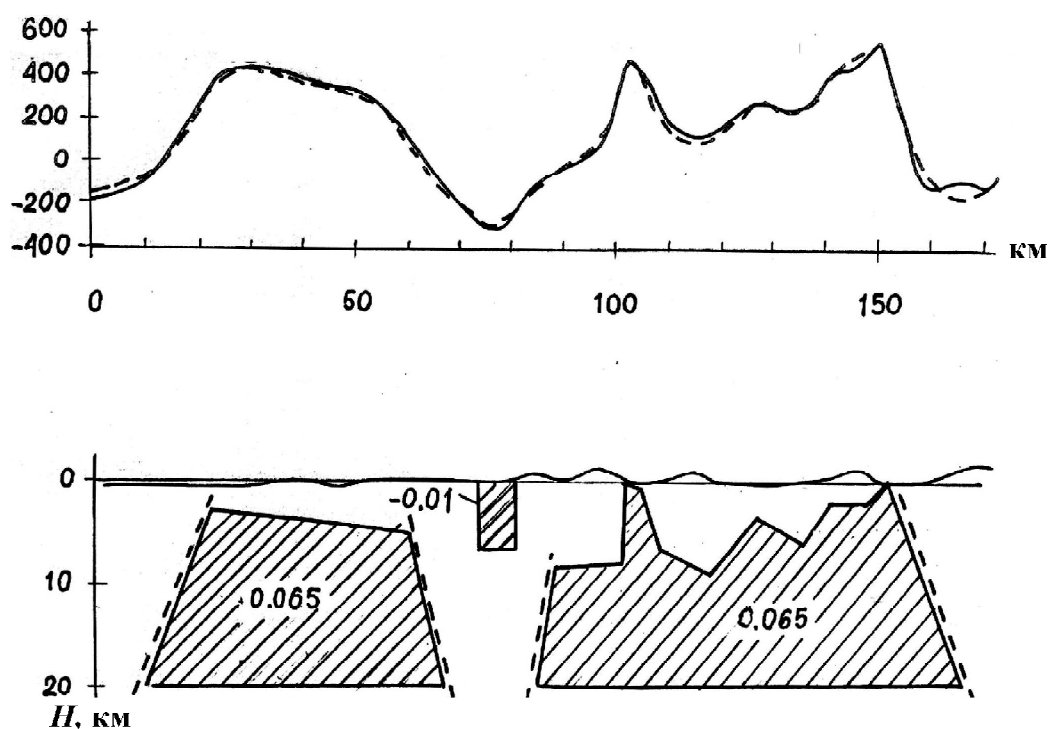


Рис. 6. Аномальное магнитное поле и результаты моделирования параметров источников ТОМА [3]

для серии профилей съемки в северной части котловины Поуэлл, показали, что магнитная восприимчивость источников аномалий составляет 0,05–0,1 ед. СИ для всех моделируемых тел.

Как показывают результаты моделирования магнитных аномалий этой зоны ТОМА (рис. 6) границы магнитоактивного источника являются контрастными, поскольку на профилях, расположенных недалеко от выделенного тела, подобные аномалии часто отсутствуют, на что указывает резко пониженный уровень фиксируемого магнитного поля. Вместо этого глубинного батолита здесь, исходя из результатов моделирования, могут располагаться магнитоактивные тела с магнитной восприимчивостью 0,05–0,1 ед СИ, залегающие на глубине 4–8 км. Эти значения находятся в хорошем соответствии с определениями магнитной восприимчивости образцов пород основного состава из разных участков Антарктического полуострова, в том числе района станции “Академик Вернадский”. Известно, что средние значения магнитной восприимчивости для пород комплексов Антарктического полуострова варьируют в достаточно широком диапазоне от 0,01 до 0,2 ед. СИ.

К ним близки среднестатистические значения магнитной восприимчивости интрузивных и жильных образований основного и среднего состава, сформированных в геотектонических условиях преобладающего растяжения земной коры, что подтверждает предположение о существовании такого геодинамического режима в проливе Брансфилда и в смежных структурах Западной Антарктики в мезокайнозой.

Следует отметить, что значения параметра Q для всех измеренных образцов колебались в пределах $0,1 \div 5$, что подтверждает обычно принятое при интерпретации предположение о субпараллельности индуктивной и остаточной намагниченности при формировании магнитоактивных источников в породах Антарктического полуострова.

Новые данные о значениях магнитных параметров соответствуют наличию в магматических породах наиболее распространенных магнитных минералов серии титаномagnetитов (в частности, магнетита), в той или иной мере измененных и окисленных в результате разнообразных процессов дифференциации и взаимодействия магматических комплексов земной коры.

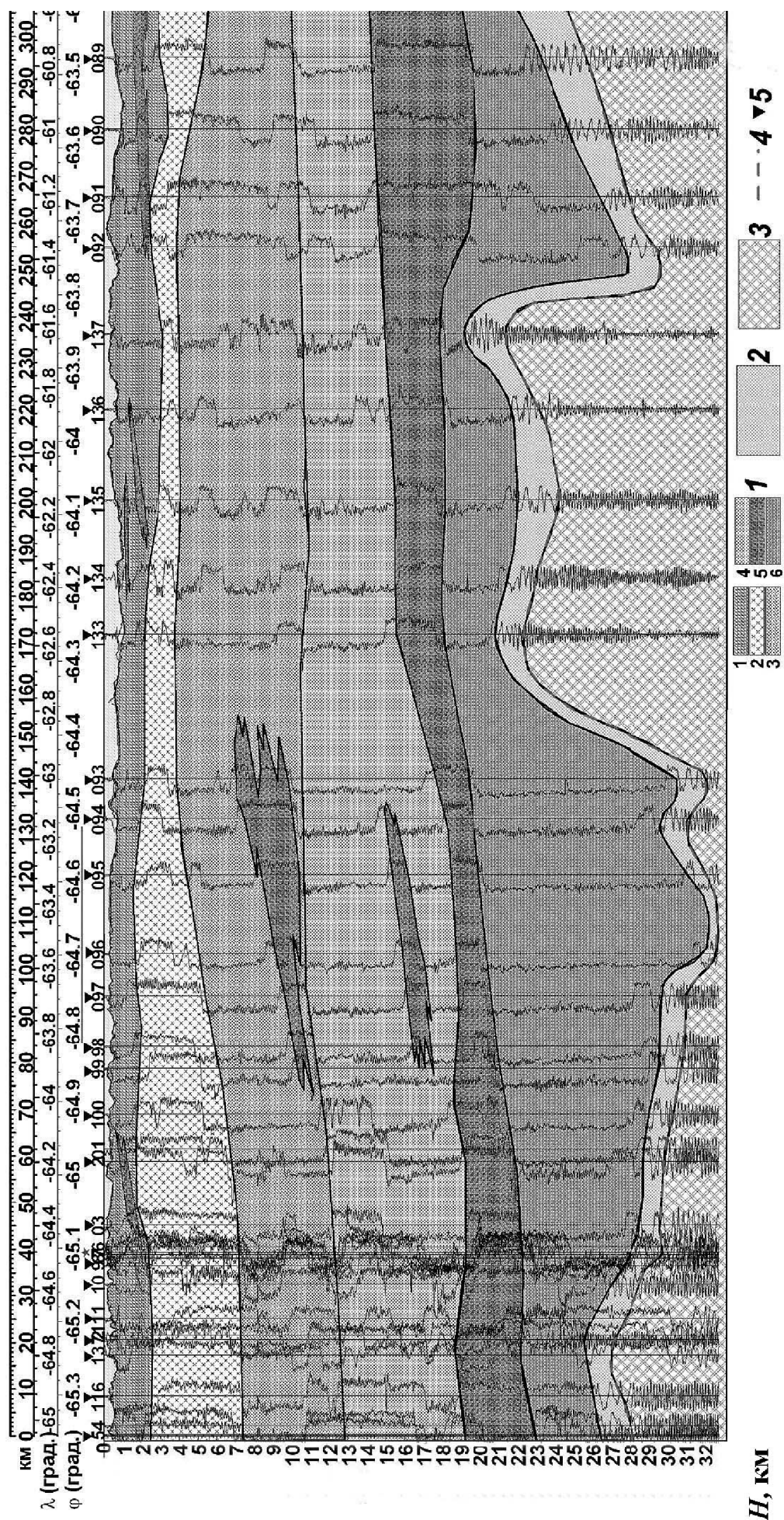
Результаты интерпретации материалов ВЭРЗ, полученных во время проведения сезонных работ 9-й и 11-й Украинской антарктической экспедиции (2004–2006) показали, что в разрезах земной коры участков побережья Антарктического полуострова, где зафиксировано существование ТОМА, выявлены аномальные горизонты, которые могут быть источником наблюдаемых геофизических аномалий.

На профиле 5 вблизи о-ва Анверс (рис. 7) между станциями 93–99 на глубине 3–5 км, 9–12 км и 16–18 км существуют аномальные горизонты протяженностью до 70 км, которые пространственно совпадают с положением ТОМА. Известно, что породы, которые являются источником интенсивных магнитных аномалий вдоль Антарктического полуострова, имеют разный возраст и преимущественно основной состав. Данные ВЭРЗ впервые показали особенности глубинного строения предполагаемого источника этой аномальной зоны, которая имеет значительные отличия на разных участках побережья Антарктического полуострова.

В разрезах коры нескольких участков Антарктического побережья, полученных по данным ВЭРЗ в 2004 г. [1, 2], также выделяются аномальные горизонты, с которыми, возможно, связаны глубинные магнитоактивные источники ТОМА (профили: 8–8а, ПК 190–220; 9–9а, ПК 0–30; 10–10а, ПК 10–30). Ограниченная глубина проведенных в 2004 г. исследований методом ВЭРЗ не позволила выделить аномальные горизонты на глубине более 6 км.

Данные о распределении магнитных аномалий в этом регионе позволяют более детально определить положение ветвей ТОМА к востоку от Антарктического полуострова, а морфология зоны повышенных аномалий котловины может свидетельствовать о ее пространственной и генетической связи с ветвями ТОМА, выделенными в области пролива Брансфилда.

Данные о распределении магнитных аномалий в этом регионе позволяют более детально определить положение ветвей ТОМА восточнее Антарктического полуострова. Ранее было показано, что продолжение юж-



H , км

Рис. 7. Схематическая модель глубинного строения земной коры побережья Антарктического полуострова вблизи о-ва Анверс по данным ВЭРЗ: 1 — комплекс эффузивных и кристаллических пород; 2 — породы переходной зоны кора-мантия; 3 — породы верхней мантии; 4 — раздел Мохо; 5 — пункты ВЭРЗ

ной ветви этой аномалии может располагаться на краю котловины Поуэлл, а продолжение ее северной ветви может простираться в широтном направлении южнее островов Элефант и Кларенс, располагаясь к югу от Южного хребта Скоша, где оно обрывается структурами котловины Поуэлл [3].

Морфология зоны повышенных аномалий на окраине котловины может свидетельствовать о пространственной и генетической связи этой зоны с ветвями ТОМА, выделенными в области пролива Брансфилда. При анализе имеющихся материалов магнитных съемок в котловине Поуэлл были предложены различные варианты продолжения ТОМА в районе, один из которых приведен на рис. 8. Наличие различных вариантов северо-восточного продолжения ветвей ТОМА связано с тем, что сложное тектоническое взаимодействие отдельных блоков на границе Антарктической плиты и плиты Скоша могло привести к частичной утрате намагниченности глубинных источников, что затрудняет корреляцию магнитных аномалий.

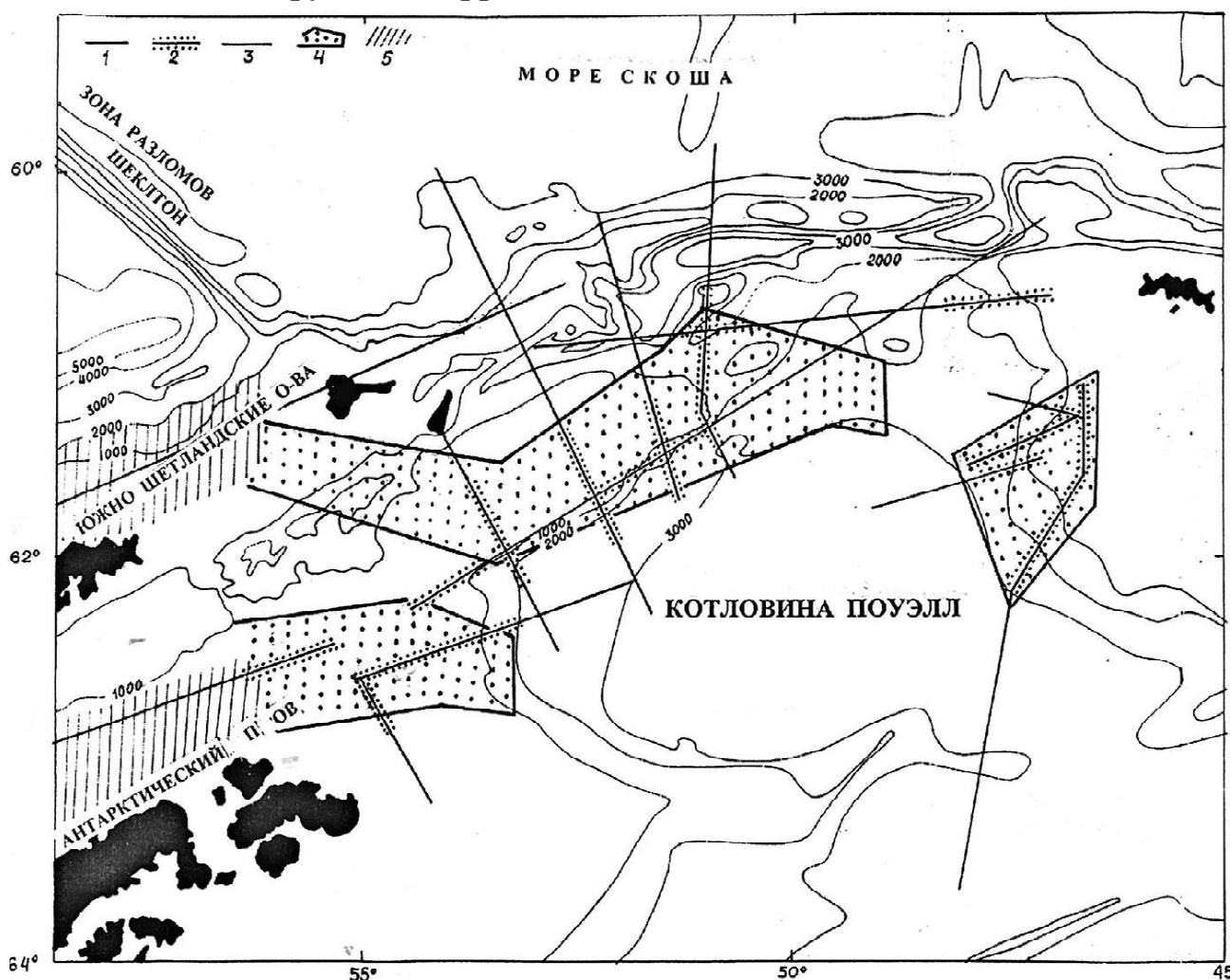


Рис. 8. Положение зоны интенсивных магнитных аномалий (ТОМА) в восточной части пролива Брансфилда и котловине Поуэлл: 1 — положение профилей съемки; 2 — участки распространения магнитных аномалий; 3 — изолинии глубин, м; 4 — вероятное продолжение зоны интенсивных магнитных аномалий в котловину Поуэлл; 5 — положение зоны интенсивных магнитных аномалий (ТОМА) в проливе Брансфилда

Поэтому вполне вероятно, что в пределы северной части котловины Поуэлл могут продолжаться обе ветви ТОМА, сильно сближенные в пространстве. Данные съемок показали, что в центральной части котловины интенсивные магнитные аномалии и крупные неоднородности земной коры не выделены.

Выводы. Анализ материалов магнитных съемок, полученных во время проведения морских геофизических экспедиций на НИС «Эрнст Кренкель», позволил уточнить пространственное положение ветвей ТОМА от Антарктического полуострова к котловине Поуэлл. Магнитное моделирование аномалий разных сегментов ТОМА показало, что ее источником может быть батолит основного состава. Впервые по данным ВЭРЗ построен глубинный (до 32 км) разрез участков земной коры, над которыми наблюдается зона интенсивных магнитных аномалий (ТОМА). Аномальные горизонты на глубине 3 – 18 км могут иметь отношение к формированию ее магнитовозмущающих источников. Согласно данным магнитных съемок, можно допускать, что внедрение батолита основного состава в континентальную кору произошло в мелу, в период длительного существования прямой полярности поля. Процессы тектонической активности структур всей пограничной области котловины Поуэлл продолжались и в кайнозое.

Данные магнитных съемок и моделирования источников аномалий вдоль отдельных профилей показали, что в северной части котловины Поуэлл можно выделить пограничные области, формирующие особый тип аномалий, которые контролируют положение границы океан – континент. Эти характерные аномалии располагаются вблизи самой южной части Южного хребта Скоша, отражая наличие переходной зоны от континентальной коры хребта к коре океанического типа котловины Поуэлл.

1. 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.
2. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Solovyov V.D., Pyschaniy Ju.M. Geoelectric investigations of crustal inhomogeneities of Antarctic Peninsula area // The 4th Balkan Geophys. Congr. – Int. Conf. of Applied Geophysics and Earth Physics, Bucharest Romania, 9 – 12 Oct. 2005. – Extended Abstracts compact disk. – 4 p.
3. Surinach E., Galindo-Zaldivar, J., Maldovaldo, A., Livermore, R. Large Amplitude Magnetic Anomalies in the Northern Sector of the Powell Basin, NE Antarctic Peninsula // Mar. Geophys. Res. – 1997. – **19**. – P. 65–80.
4. Garrett S.W. Interpretation of Reconnaissance Gravity and Aeromagnetic Surveys of the Antarctic Peninsula // J. Geoph. Res. – 1990. – **95**. – P. 6759–6777.
5. Bohoyo, F., Galindo-Zaldivar, J., Maldonaldo, A., Shreider, A.A. & E. Surinach. Basin developments ubsequent to ridge-trench collision: the Jane Basin, Antarctica // Mar. Geophys. Res. – 2002. – **23**. – P. 413–421.