

УДК 550.83:551.214(265.53):681.3

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ВБЛИЗИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ОКОНЕЧНОСТИ о. СИМУШИР (КУРИЛЬСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА)

© 2014 Ю.И. Блох¹, В.И. Бондаренко², А.С. Долгаль³, П.Н. Новикова³,
О.В. Пилипенко⁴, В.А. Рашидов⁵, А.А. Трусев⁶

¹Москва; e-mail: yuri_blokh@mail.ru;

²Костромской ГУ им. Н.А. Некрасова, г. Кострома;

³Горный институт УрО РАН, г. Пермь;

⁴Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва;

⁵Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

⁶ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика», г. Москва

Приводятся результаты применения современных компьютерных технологий для интерпретации материалов комплексных геолого-геофизических исследований подводного вулканического центра вблизи юго-западной оконечности о. Симушир в Курильской островной дуге.

Выполнена оценка магнитных свойств горных пород в естественном залегании и установлено, что наиболее намагниченной является часть вулканического центра в интервале глубин 480–950 м, где эффективная намагниченность достигает 3 А/м. Сделаны предположения о субвертикальном направлении подводных каналов и наличии на глубине ~ 2.5 км застывшего периферического магматического очага. Установлено, что основными ферромагнитными носителями намагниченности являются однодоменные и псевдооднодоменные, слабо анизотропные зерна титаномagnetита и магнетита. Построена 3D-модель магнитовозмущающего тела.

Ключевые слова: технология моделирования, подводный вулканический центр, Курильская островная дуга.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из задач, решаемых при изучении подводного вулканизма в Тихом океане с борта научно-исследовательского судна (НИС) «Вулканолог» являлась проверка сообщений навигационных служб (Горшков, 1981; 1983; Подводный..., 1992) и непосредственно капитанов судов (Авдейко и др., 1984) о возможном проявлении подводной вулканической деятельности. Полученные в результате выполнения этих работ материалы позволили получить новые сведения о масштабах и формах проявления подводной вулканической деятельности в Тихом океане.

С целью проверки одного из таких сообщений в извещениях мореплавателям о проявлении подводной вулканической деятельности в 1980 г. в Курильской островной дуге (КОД) в 17 рейсе НИС «Вулканолог» в 1983 г. были выполнены

комплексные геолого-геофизические исследования подводного хребта, расположенного ~ в 20 км от юго-западной оконечности о. Симушир. Проведенные работы позволили предположить в этом месте наличие подводного вулканического центра (рис. 1), который вошел в «Каталог подводных вулканов и гор Курильской островной дуги» под номером 6.13 (Подводный..., 1992).

МОРФОЛОГИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

Относительная высота вулканического центра 6.13 ~ 2000 м, а размер основания – 25×20 км. Объем вулканического центра составляет ~ 100 км³ (Подводный..., 1992).

Плоская вершина вулканического центра, вытянутая в северо-восточном направлении, располагается на глубинах 480–500 м (рис. 2–4). С севера от подножия о. Симушир она частично

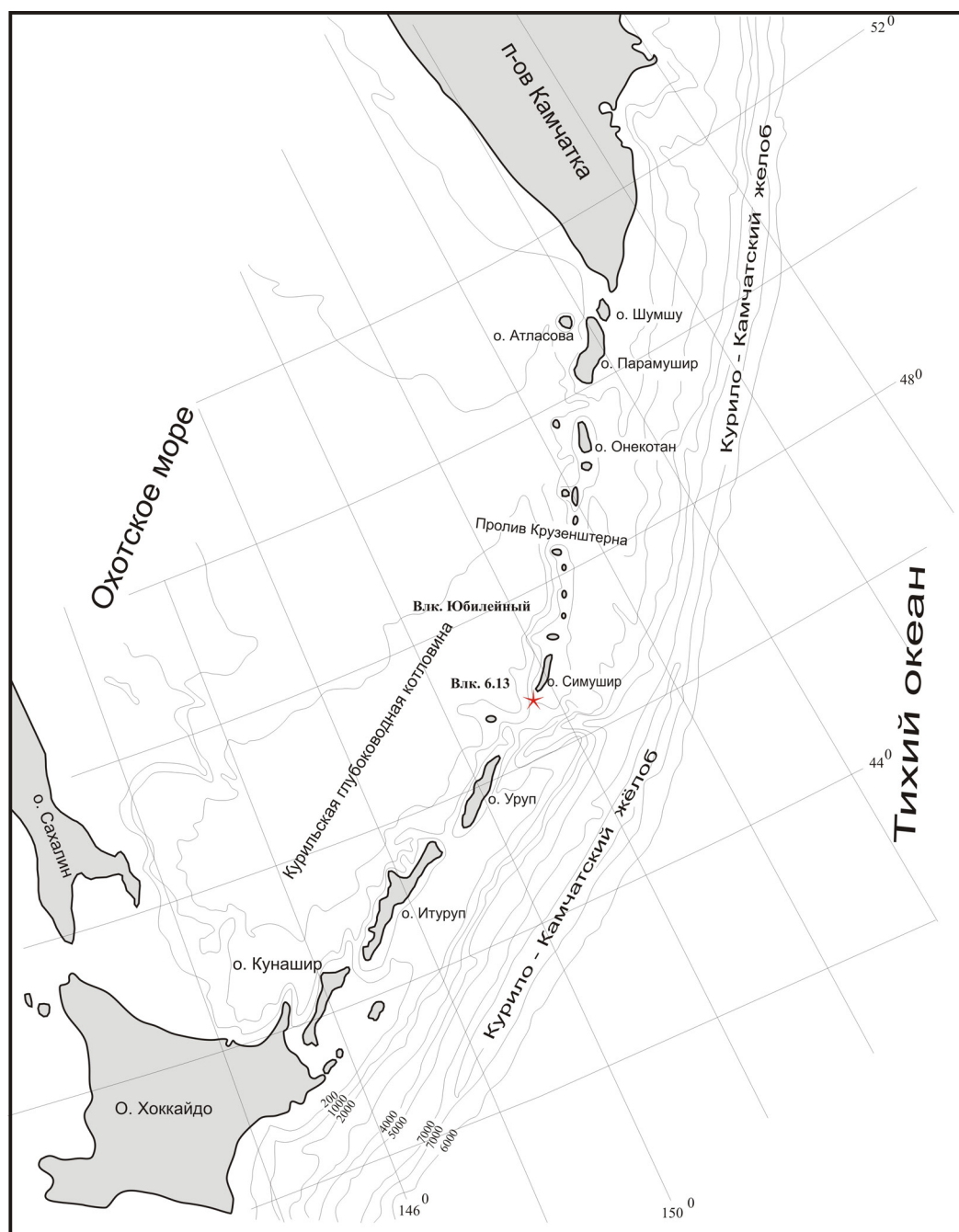


Рис. 1. Местоположение подводного вулканического центра 6.13.

отделяется ложбиной с относительными глубинами от 10-20 до 250 м.

В северо-восточном направлении ее продолжением является слегка наклонная терраса на глубинах 450-480 м. Плоская площадка вершины массива подстилается гетерогенной толщей в целом акустически непрозрачных образований. На сейсмограммах непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) эта толща характеризуется наличием большого количества сложно переслаивающихся, чаще всего непротяженных осей синфазности сигнала с очень высоким уровнем сигналов-помех (рис. 4). Местами толща прослеживается на сейсмограммах НСП до

0.3-0.4 секунд удвоенного времени распространения сигнала (УВС), местами – менее 0.1 секунды. Наблюдаемая на сейсмограммах НСП картина позволяет предположить, что плоская вершина вулканического центра 6.13 представляет собой срез минимум двух слившихся вулканических построек.

Западные склоны вулканического центра очень крутые, до 20-30°. Они погружаются до глубины 2200-2300 м, где склон резко выполаживается. На значительной его части поверхность дна представляет собою жесткую сейсмически шероховатую границу, ниже которой на сейсмограммах НСП регулярные отражающие границы

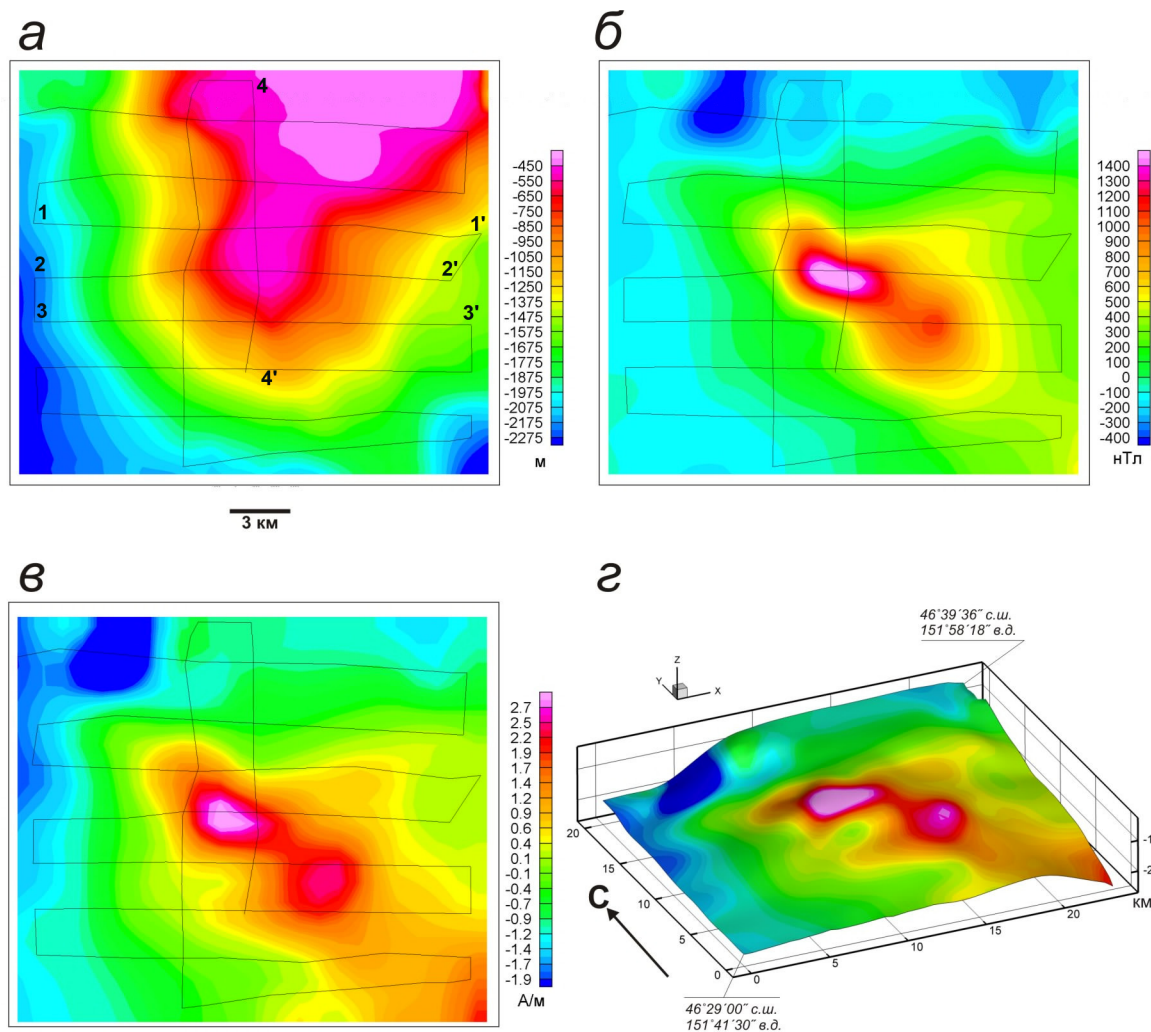


Рис. 2. Подводный вулканический центр 6.13: *а* – батиметрия; *б* – аномальное магнитное поле ΔT ; *в* – распределение эффективной намагниченности вулкана; *г* – распределение эффективной намагниченности, изображенное на поверхности вулкана. Цифрами обозначены профили, представленные на рис. 4, 7, 10.

отсутствуют. Местами эта граница перекрывается тонким слоем, по-видимому, рыхлых отложений с признаками оползания (рис. 4, пр. 1-1', ОП). Подножие склона перекрывается толщей полупрозрачных, местами отчетливо-слоистых отложений. Видимая мощность их – до 0.25 секунд УВС.

Восточные склоны вулканического центра имеют несколько меньший наклон дна (15–20°) и более неровный его рельеф. Неровности рельефа склона чаще всего создаются линзами осадочного материала, вероятно, оползневое происхождения, залегающими на жесткой поверхности ядра массива. Мощность осадочных отложений на восточных склонах значительно больше, чем на западных.

Некоторые предполагаемые оползневые тела могут иметь мощность до 0.2 секунд УВС. Местами эти линзы занимают на склоне гравитационно неустойчивое «висячее положение» (рис. 4, ОП), то есть являются потенциально цунамиопасными. Восточные склоны вулканического центра погружаются до глубин

1500–1800 м. Подножие склона перекрывается довольно мощной толщей предположительно оползневых отложений, идентифицирующихся на профилях НСП по сложному переслаиванию многочисленных разноориентированных, часто с хаотическим рисунком отражающих границ, линз и прослоев рыхлого материала, а также неровному, бугристому рельефу дна (рис. 3).

Южное замыкание вулканического центра представлено небольшим относительно пологим подводным хребтом, протягивающимся в южном направлении примерно на 7 км. Гребень хребта в этом направлении постепенно погружается от 500 м до ~ 2200–2300 м (рис. 2, 3). В привершинной части хребта верхняя часть разреза представлена толщей «акустически непрозрачных» отложений, фиксирующейся на профилях НСП сложным переслаиванием многочисленных осей синфазности сигнала различной интенсивности и протяженности с высоким уровнем сигналов-помех. Обычно подобная картина может

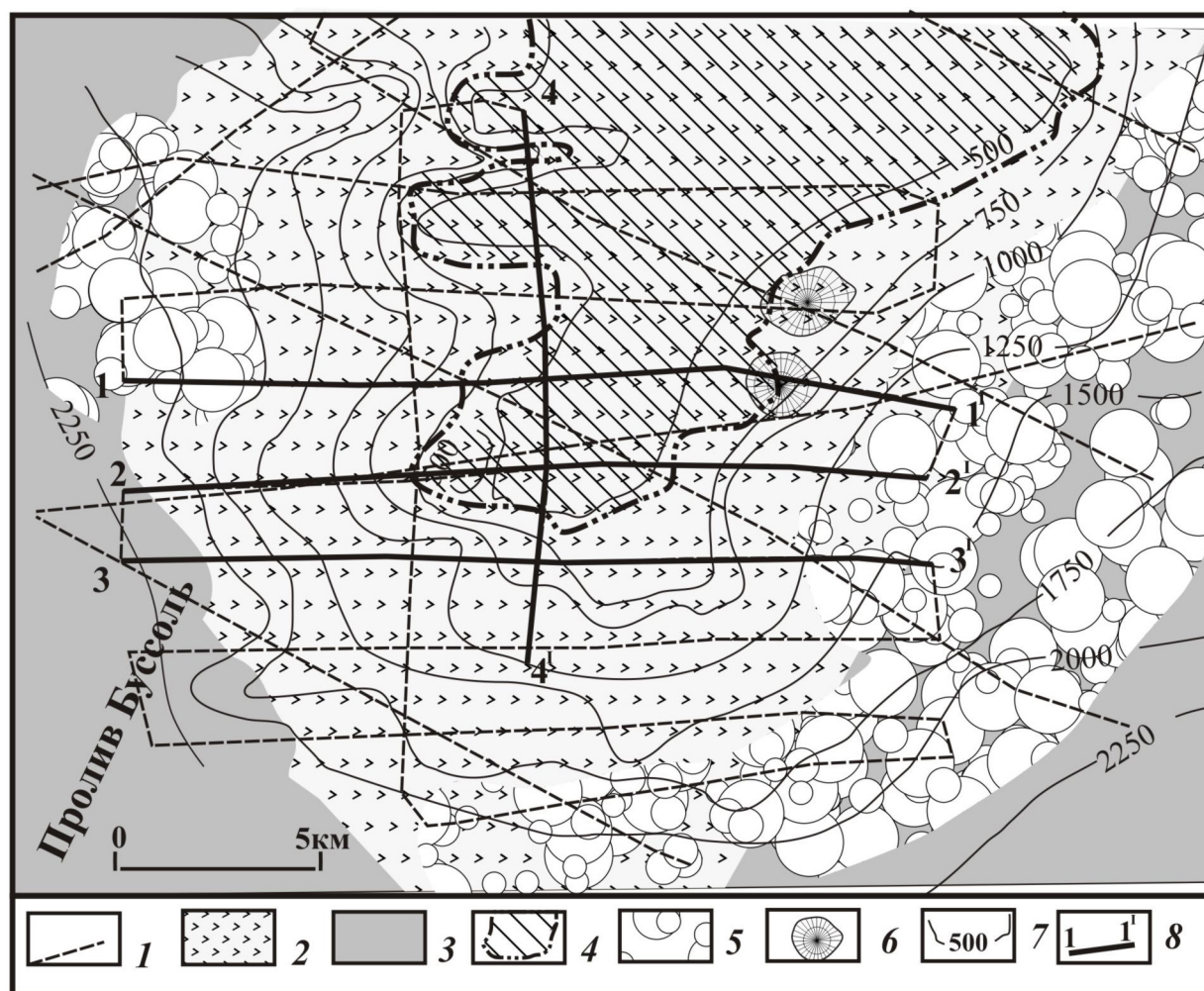


Рис. 3. Схема строения подводного вулканического центра 6.13: 1 – геофизические профили; 2 – предполагаемые вулканогенные образования; 3 – осадочные отложения; 4 – плоская вершина массива; 5 – предполагаемые оползневые образования; 6 – предполагаемые небольшие одноактные вулканические структуры; 7 – изобаты; 8 – положение профилей НСП, приведенных на рис. 4.

быть характерной для сложно построенных вулканогенных толщ со значительным участием рыхлых вулканогенных отложений (Бондаренко, 1990; Бондаренко, Рашидов, 1995; Селиверстов, Бондаренко, 1983). Видимая мощность этих образований местами достигает 0.4-0.5 секунд УВС, но истинную мощность их установить не представляется возможным из-за сильного затухания сейсмических сигналов. Вниз по склонам хребта в строении описываемой толщи увеличивается количество и протяженность регулярных отражающих границ, уменьшается уровень записи нерегулярных сигналов. Но одновременно более неровным становится рельеф дна. Наблюдаемая картина может указывать на то, что в нижней части склонов в формировании данных отложений большую роль играли процессы седиментации обломочного материала и оползневые процессы. Возможно, эти отложения формировались в основном за счет переотложения продуктов абразии вершинной части вулканического центра 6.13, хотя нельзя исключить

и участия рыхлых продуктов вулканических извержений.

Судя по наблюдаемой картине, вулканический центр имеет довольно древний возраст. Вероятнее всего, он образовался не позднее позднего плейстоцена. В прошлом он, по-видимому, длительное время находился вблизи уровня моря и подвергался абразии, в результате которой сформировалась его плоская вершина. У восточного края плоской вершины на профилях НСП отмечаются небольшие пики (рис. 3; рис. 4, пр. 1-1', К), с относительными превышениями до 100 м, диаметром до 1 км, аналогичные небольшим структурам, осложняющим плоскую вершину подводного вулкана Григорьева в северной части КОД (Блох и др., 2006). Вполне вероятно, что они образовались после формирования вершины и представляют собою более молодые экструзивные купола или небольшие одноактные вулканы. На наших профилях НСП можно идентифицировать, по крайней мере, две подобные структуры. Но, учитывая тот факт, что

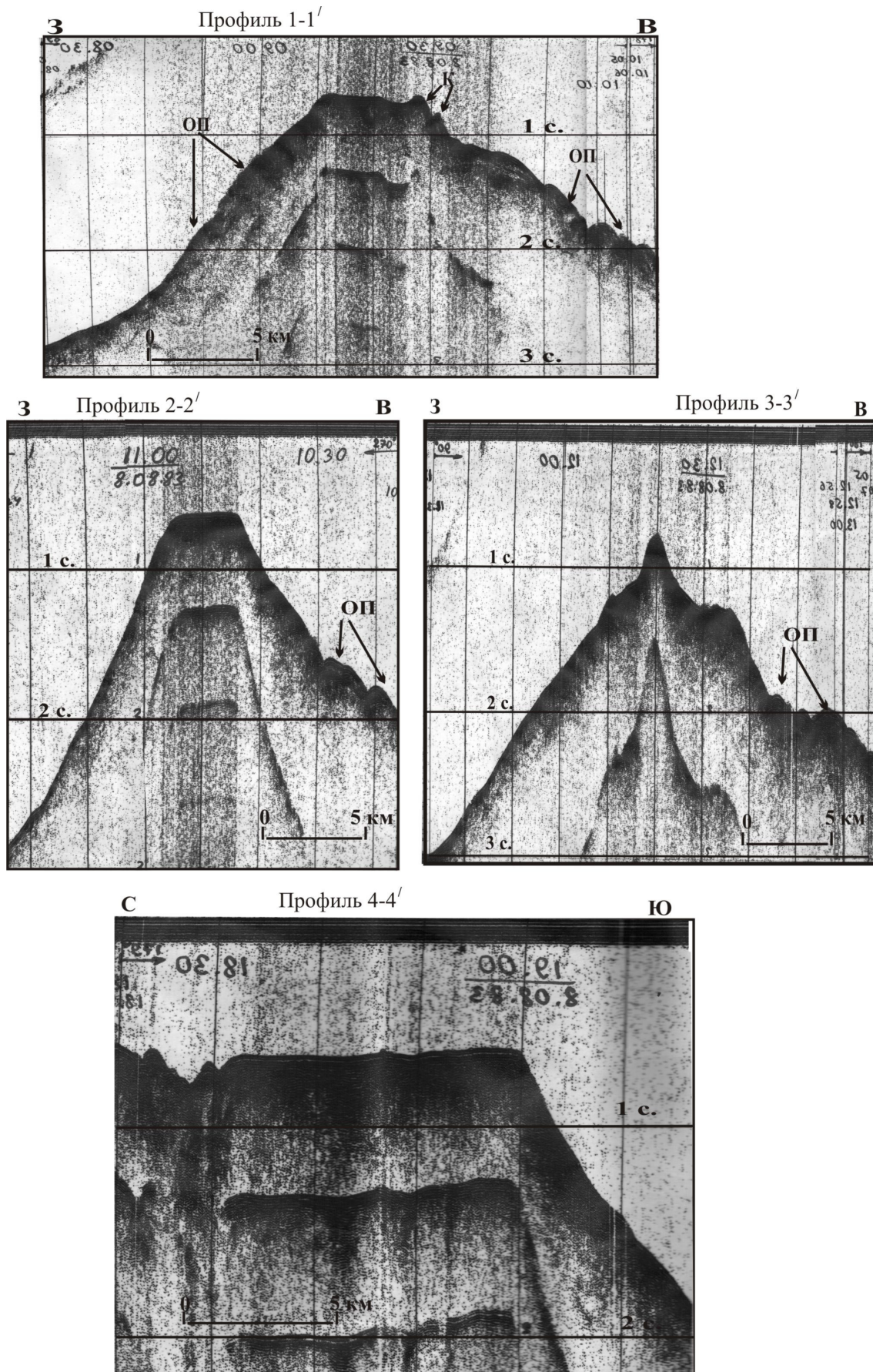


Рис. 4. Фрагменты профилей НСП: ОП – оползневые тела; К – небольшие пики. Положение профилей представлено на рис. 3.

их характерный размер меньше среднего межпрофильного расстояния геофизических съемок, нельзя исключить наличия дополнительных, не обнаруженных пока структур (Надежный, Бондаренко, 1986). Нельзя исключать также, что имеющиеся сообщения о наблюдавшихся в этом районе извержениях, связаны с формированием подобных небольших подводных вулканов.

К подводному вулканическому центру, судя по данным гидромагнитной съемки (ГМС), приурочена положительная аномалия магнитного поля ΔT_a , интенсивность которой превышает 1800 нТл (рис. 2б).

В пределах привершинной части вулканического центра было выполнено три результативных драгирования и поднят разнообразный по своему составу материал (рис. 5), в котором наиболее свежими породами являются базальты (Подводный..., 1992). Подавляющее большинство драгированных пород относится к породам умеренно-калиевой серии и характеризуется низкими титанистостью и глиноземистостью. Все драгированные породы содержат от 15 до 30% вкрапленников, которые представлены плагиоклазом, орто- и клинопироксеном, титаномagnetитом и оливином. В драгах было поднято также большое количество железомарганцевых образований, представленных корками, конкрециями и пропитанным железомарганцевыми окислами песчано-глинистым материалом (Аникеева и др., 2008; Гавриленко, 1997; Гавриленко, Храмов, 1986; Подводный..., 1992). Содержание Mn в железомарганцевых образованиях изменяется в диапазоне 5.20–39.04 вес.%, а Fe – в диапазоне 3.33–11.80 вес.%. Поднятые железомарганцевые корки относятся к низкотемпературным гидротермальным образованиям (Аникеева и др., 2008).

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение магнитных свойств драгированных пород в лабораторных условиях показало, что наиболее магнитными являются базальты и андезибазальты, естественная остаточная намагниченность которых достигает, соответственно, 12.41 и 8.50 А/м. Наименее магнитными являются диориты и алевролит (табл. 1, 2).

Детальные петромагнитные исследования (табл. 2) показали, что у образца габбродиорита В17-45/1 относительно низкая намагниченность обусловлена содержанием низкокоэрцитивных многодоменных (MD) магнитных зерен ($B_{cr} = 23$ мТл, см. табл. 2), степень анизотропии достигает 8%. У этого образца наблюдается спад намагниченности с ростом магнитной восприимчивости, что объясняется зависимостью от размера магнитного зерна. Намагниченность



Рис. 5. Образцы, драгированные на подводном вулканическом центре 6.13.

остальных образцов (андезибазальт В17-44/1, базальт В17-46/1 и андезибазальт В17-46/7) обусловлена содержанием низкокоэрцитивных однодоменных и псевдооднодоменных (SD-PSD) магнитных зерен ($B_{cr} = 23$ мТл), степень анизотропии $\sim 2\%$. У перечисленных образцов наблюдается рост намагниченности с ростом магнитной восприимчивости, что объясняется ростом концентрации зерен носителей.

Терромагнитный анализ (ТМА) по зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры $J_{rs}(T)$, созданной в постоянном магнитном поле ~ 0.8 Тл, образцов габбродиорита В17-45/1, базальта В17-46/1 и андезибазальта В17-46/7, выполненный на двухкомпонентном терромагнитометре (ОРИОН, Россия), говорит о том, что основным носителем намагниченности является магнитный минерал с температурой блокирования в районе 580–590°C (рис. 6). Кривая второго нагрева проходит либо ниже кривой первого нагрева и повторяет ее ход (образцы В17-46/1 и В17-46/7), либо почти совпадает с кривой первого нагрева (образец В17-45/1). Как кривые первого нагрева, так и кривые второго нагрева имеют практически ту же самую температуру блокирования. Такая картина может говорить о том, что основным носителем намагниченности в данных образцах является магнетит. В ходе нагрева происходит частичное

Таблица 1. Магнитные свойства пород, драгированных на подводном вулканическом центре 6.13.

№ п/п	Количество образцов	Горная порода	Диапазон изменения J_n , А/м	Диапазон изменения α , 10^{-3} СИ
1	10	Базальт	4.18-12.41	5.47-14.70
2	5	Андезибазальт	0.11-8.50	21.70-136.36
3	6	Андезит	0.50-1.36	3.01-6.29
4	3	Диорит	0.003-0.004	5.26-5.66
5	8	Габбродиорит	1.80-3.41	1.74-10.01
6	1	Алеврит	0.74	5.60

Примечание. J_n – естественная остаточная намагниченность; α – магнитная восприимчивость.

Таблица 2. Петромагнитные характеристики четырех образцов, драгированных на подводном вулканическом центре 6.13.

№ п/п	1	2	3	4
Номера образцов	B17-44/1	B17-45/1	B17-46/1	B17-46/7
Описание образцов	Андезибазальт	Габбродиорит	Базальт	Андезибазальт
J_n , А/м	6.43	1.86	3.35	3.46
$\alpha \times 10^{-3}$ СИ	23.91	18.03	17.54	21.03
P'	1.02	1.08	1.02	1.02
B_{cr} , мТл	23	23	23	23
$B_{0.5}$, мТл	61	61	56	46
J_{rs}/J_s	0.10	0.05	0.12	0.13
B_{cr}/B_c	2.5	4.29	1.4	1.5
Структура зерен	PSD	MD	SD-PSD	PSD

Примечание. J_n – естественная остаточная намагниченность; α – магнитная восприимчивость; P' – степень анизотропии магнитной восприимчивости; B_c – коэрцитивная сила; B_{cr} – остаточная коэрцитивная сила; $B_{0.5}$ – медианное поле; J_s – намагниченность насыщения; J_{rs} – остаточная намагниченность насыщения; SD – однодоменные зерна; PSD – псевдооднодоменные зерна; MD – многодоменные зерна.

окисление магнетита и переход его в маггемит, что объясняет падение остаточной намагниченности насыщения. Не исключено, что в естественных условиях в этих образцах произошло гетерофазное разложение первичного титаномагнетита до магнетита и ильменита.

ТМА по $J_{rs}(T)$ образца базальта B17-44/1 говорит о том, что основным носителем намагниченности является магнитный минерал с температурой блокирования в районе 400°C. Кривая второго нагрева проходит чуть выше кривой первого нагрева, повторяет ее ход, температура блокирования смещается в высокотемпературную область: ~ 450°C. Основным носителем намагниченности в данном образце является титаномагнетит $Fe_{(3-x)}Ti_xO_4$ с содержанием Ti ($X = 0.24$) и/или окисленный титаномагнетит (титаномаггемит). В этих образцах в ходе нагрева до 700°C происходит гетерофазное окисление титаномагнетита и/или титаномаггемита.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Интерпретация материалов комплексных геофизических исследований была выполнена

с помощью современной компьютерной технологии моделирования данных ГМС в комплексе с эхолотным промером, НСП и анализом естественной остаточной намагниченности и химического состава драгированных горных пород, разработанной авторами и успешно применяемой при изучении подводных вулканов КОД (Блох и др., 2012а, 2012б, 2013а, 2013б, 2014а, 2014б).

Анализ особых точек функций, описывающих аномальные поля на отдельных галсах, проводился с помощью интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох и др., 1993) и показал приуроченность основных особенностей функций, описывающих аномальные поля, к верхней кромке вулканических пород (рис. 7). Помимо этого, методы особых точек позволили предположить субвертикальное направление подводящих каналов и наличие на глубине ~ 2.5 км периферического магматического очага.

С помощью программы ИГЛА (Блох, Трусков, 2007) уточнено, что вектор намагниченности пород отклонен от вектора нормального магнитного поля T_0 к ЮЗ на угол около 60°, что может свидетельствовать о значительной составляющей остаточной намагниченности (рис. 8).

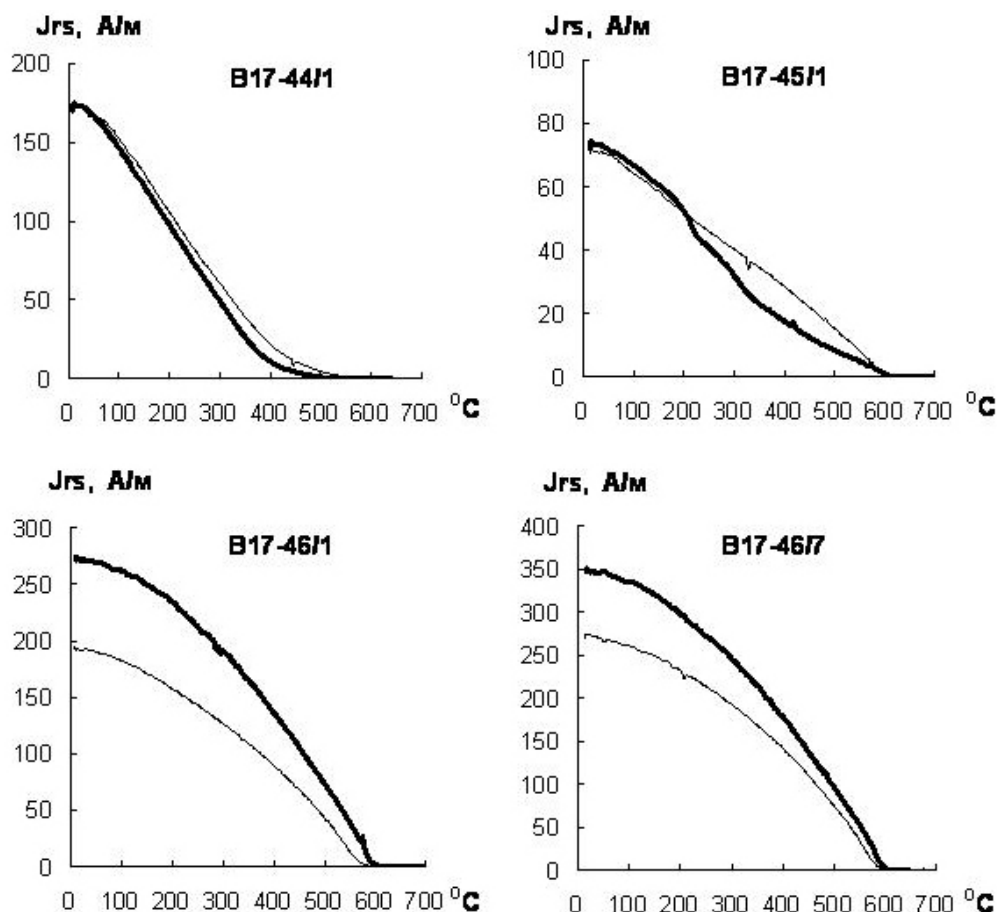


Рис. 6. Термомагнитный анализ по зависимости J_{rs} (Т) на двухкомпонентном термомагнитометре: жирная линия – кривая первого нагрева, тонкая линия – кривая второго нагрева.

Трехмерное моделирование вулканической постройки с помощью программы REIST из пакета структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D (Блох и др., 2003) показало, что эффективная намагниченность вулканического центра 6.13 достигает 3 А/м (рис. 2в, 2г).

Среднеквадратическая погрешность подбора аномального магнитного поля после 146 итераций составила 16 нТл. Наиболее интенсивно намагниченной является центральная часть вулканического центра в интервале глубин 480-950 м. Учитывая результаты изучения магнитных свойств драгированных пород (табл. 1, 2), можно предположить, что эта часть вулканического центра, вероятнее всего, сложена базальтами и андезибазальтами. В строении вулканического центра, также как по данным НСП, четко выделяются две постройки.

Для изучения глубинного строения был использован метод фильтрационной томографии, по результатам которого была сформирована трехмерная диаграмма распределения квазинамагниченности горных пород по величине вертикальной производной, которая позволила на качественном уровне выделить геомагнитные неоднородности вулканических построек.

Интерпретационная томография вулканического центра (рис. 9) выявила различный характер распределения квазинамагниченности в СЗ-ЮВ, С-Ю и ЗЮЗ-ССВ направлениях. Наиболее намагниченной является привершинная часть вулканической постройки, от которой можно проследить локализованное снижение значений эффективной намагниченности, типичное для застывших магмоподводящих каналов. Участки с повышенными значениями квазинамагниченности можно ассоциировать с отдельными подводящими каналами субверикального простирания на глубину. Была выявлена область с наибольшими значениями намагниченности – центральный подводящий канал, и на ее фоне четко выделяются две области к ЮВ и ССВ от вершины более слабой аномальной квазинамагниченности – боковые подводящие каналы. При этом на больших глубинах три аномалии объединяются в одну, что может свидетельствовать об общем магматическом очаге.

Моделирование подводного вулкана монтажным методом в смешанной 2.5D-постановке обратной задачи магниторазведки по отдельным галсам с учетом нормального магнитного поля региона и регионального фона также показывает наличие трех объектов (рис. 10), средняя эффек-

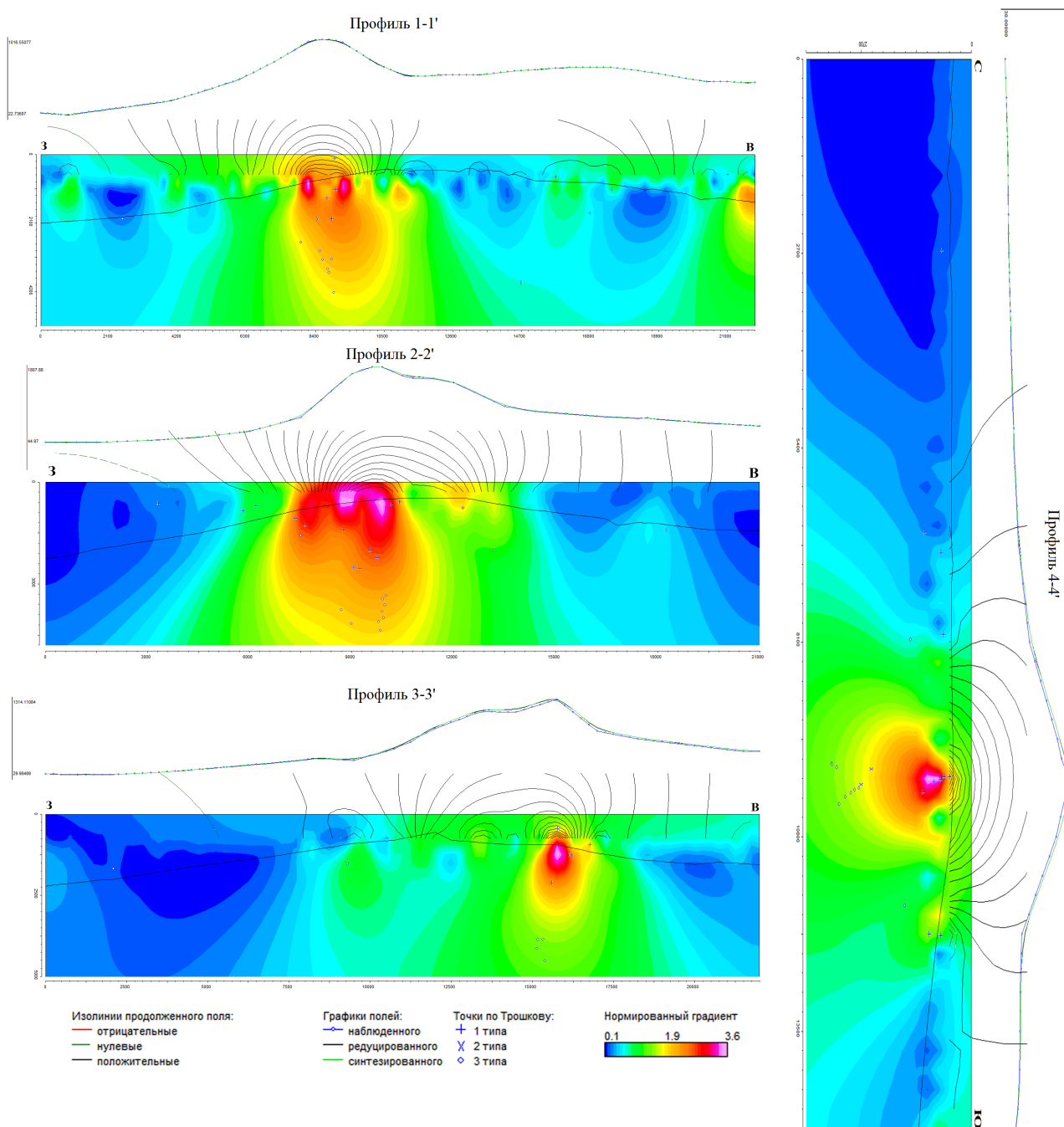


Рис. 7. Изображение, синтезированное системой СИНГУЛЯР для локализации особых точек функции, описывающей аномальное магнитное поле ΔT_a подводного вулканического центра, с наложенным рельефом дна по данным эхолотных промеров. Местоположение профилей представлено на рис. 2а.

тивная намагниченность которых варьирует от 2.5 до 4 А/м при субвертикальном направлении вектора намагниченности (отклонение угла намагничивания от вертикали составило до 8°). Таким образом, угол суммарной эффективной намагниченности отличается от направления нормального магнитного поля региона порядка на 40–45°, что подтверждает выводы, полученные при интерпретации с помощью программы ИГЛА, о наличии интенсивной компоненты остаточной намагниченности. Предположительно, интенсивность намагни-

чения подводящего канала, приуроченного к наиболее интенсивной аномалии, уменьшается от центра к периферии.

Объекты 1 и 3 субвертикальны, распространяются до глубины 14 км, поперечные размеры их меняются от 6–8 км в привершинной части вулканических построек и уменьшаются до 2 км в наиболее глубинных частях. Объект 2 имеет выраженное наклонное залегание, нижняя кромка объекта достигает глубины 12 км, а поперечные размеры меняются в среднем в пределах 2–4 км, из-за положения верхней кромки.

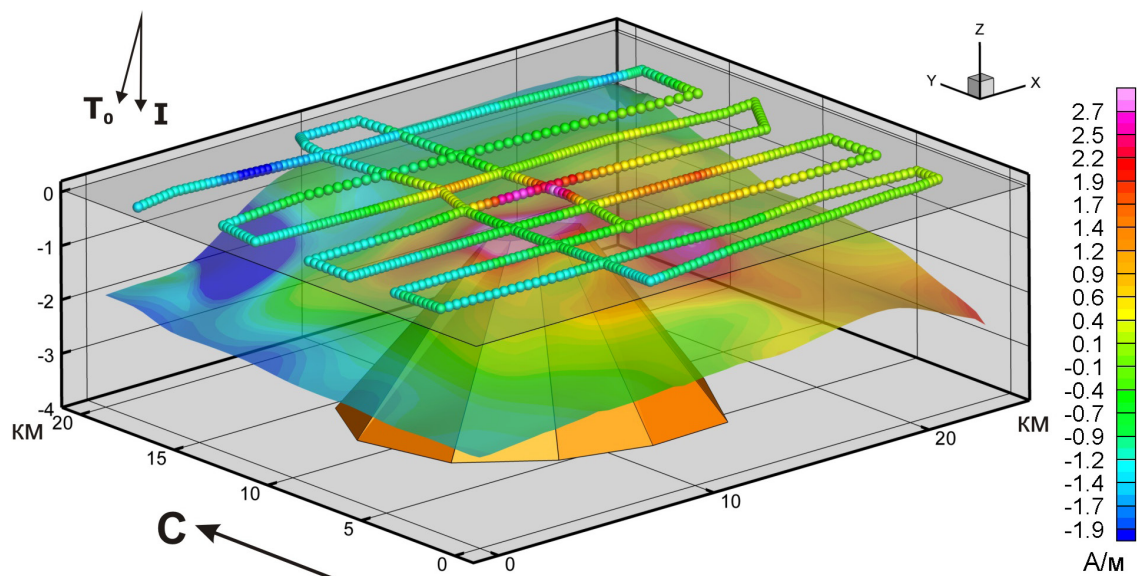


Рис. 8. Уточнение ориентировки вектора намагниченности пород, слагающих подводный вулкан 6.13, с помощью программы ИГЛА.

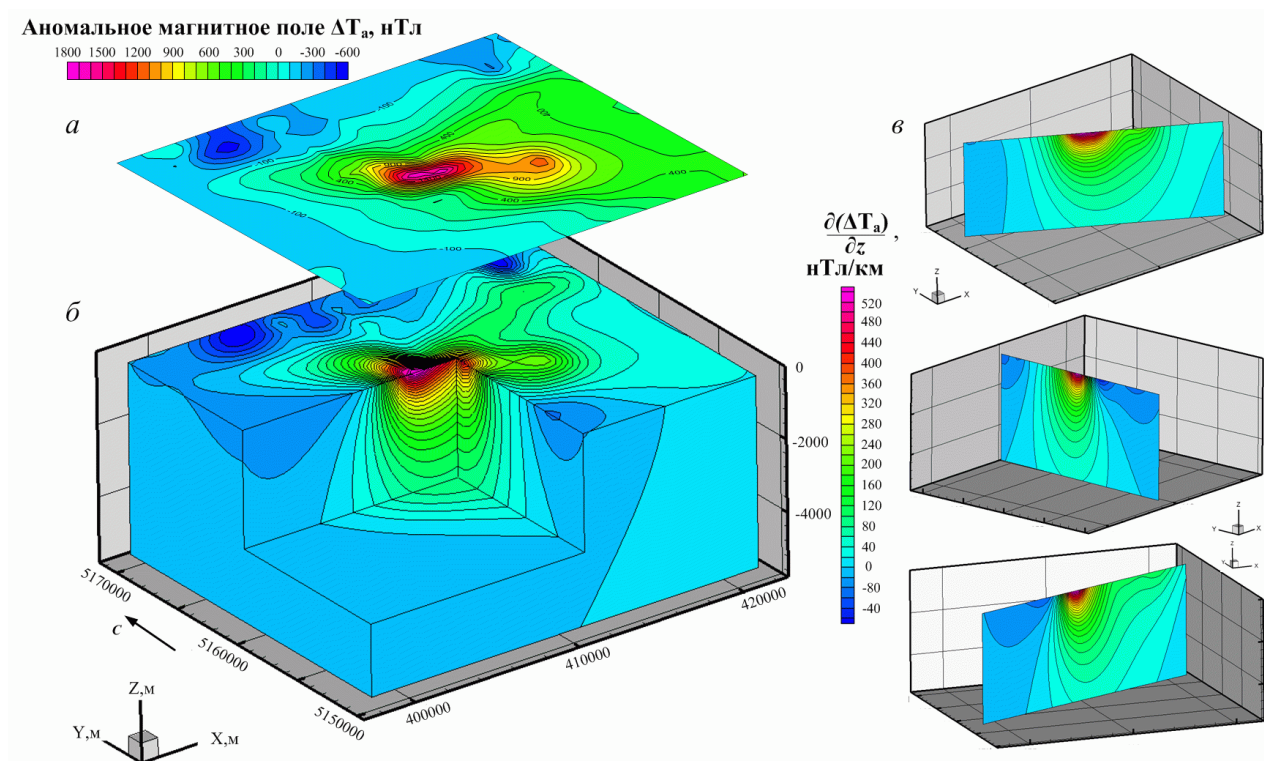


Рис. 9. Изолинии аномального магнитного поля ΔT_a (а), 3D-диаграмма (б), отражающая пространственное распределение квазинамагниченности горных пород, слагающих подводный вулкан 6.13 и ее ортогональные сечения (в).

По результатам интерпретации монтажным методом, в глубинном строении подводного вулканического центра можно выделить центральный подводящий канал и два боковых канала, связанных с основным, что подтверждается сходными магнитными характеристиками аномалиеобразующих объектов. Это заметно и при построении 3D интерполяционной модели застывшей магмоподводящей системы (рис. 11). 3D модель показывает

сложное строение подводящих каналов, практически объединенных в ЮЗ части и распадающееся на три отдельных ветви в СВ части вулкана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные комплексные исследования показали эффективность применения современных компьютерных технологий для изучения

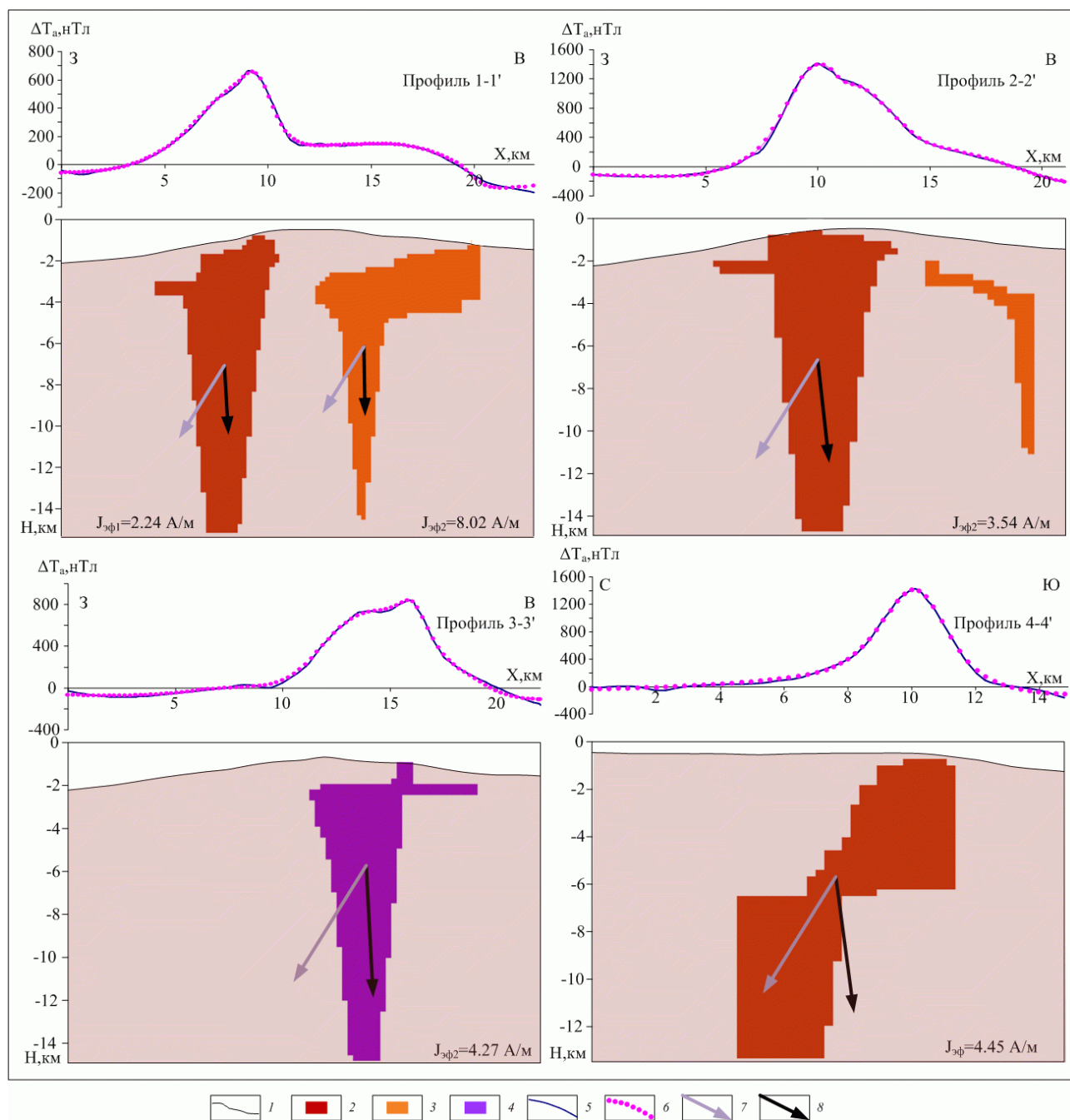


Рис. 10. Результаты решения смешанной обратной задачи магниторазведки монтажным методом для профилей 1-1', 2-2', 3-3' и 4-4': 1 – рельеф вулканической постройки; 2 – объект 1; 3 – объект 2; 4 – объект 3; 5 – исходное магнитное поле; 6 – модельное магнитное поле; 7 – вектор нормального магнитного поля региона T_0 ; 8 – вектор суммарной эффективной намагниченности объектов. Местоположение профилей представлено на рис. 2а.

подводного вулканического центра 6.13 вблизи юго-западной оконечности о. Симушир.

Вулканический центр, вероятнее всего, образовался не позднее позднего плейстоцена. В прошлом он, по-видимому, длительное время находился вблизи уровня моря и подвергался абразии, в результате которой сформировалась его плоская вершина. В строении центра выделены две постройки.

На склонах вулканического центра выделены цунамиопасные оползневые тела. У восточного

склона плоской вершины центра выявлены небольшие одноактные вулканы, образовавшиеся после формирования этой вершины. Вполне вероятно, что имеющиеся сообщения навигационных служб о проявлении подводной вулканической деятельности в этом районе, связаны с формированием подобных одноактных вулканов.

Аномальное магнитное поле вулканического центра обусловлено преимущественно остаточной намагниченностью пород. Наиболее намаг-

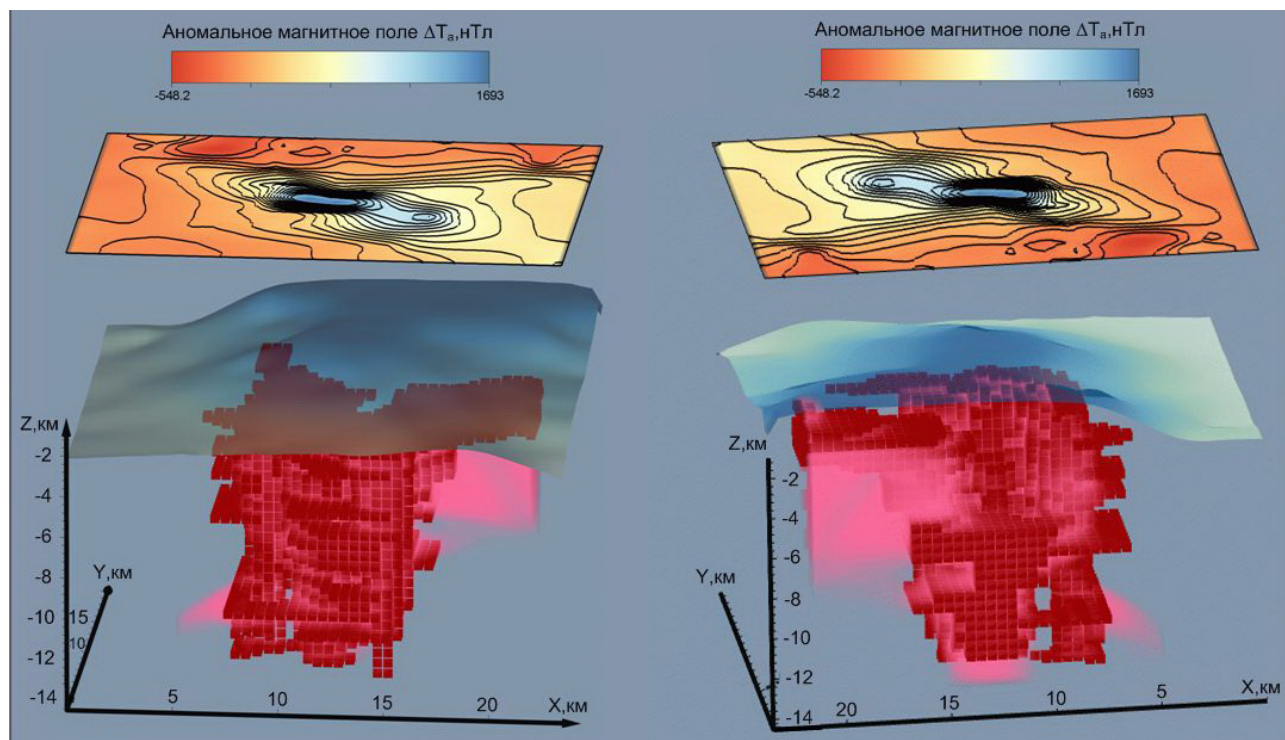


Рис. 11. 3D-модель источника магнитного поля.

нической является центральная часть вулканического центра в интервале глубин 450–950 м, имеющая эффективную намагниченность 3 А/м и сложенная базальтами и андезибазальтами. Основными ферромагнитными носителями намагниченности являются однодоменные и псевдооднодоменные, слабо анизотропные зерна титаномагнетита и магнетита. Зерна магнетита образовались в результате окисления исходного титаномагнетита в естественных условиях из-за вторичных прогревов породы.

На глубине 2.5 км выделен периферический магматический очаг и сделано предположение о субвертикальном направлении центрального и боковых подводящих каналов.

В строении застывшей магмоподводящей системы вулканического центра 6.13 выделены три аномалиеобразующих объекта, средняя эффективная намагниченность которых изменяется от 2.5 до 4 А/м. Эти объекты прослеживаются на глубину 12–14 км, а их поперечные размеры варьируют в интервале 2–8 км.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 12-05-00156-а и 12-05-00414-а).

Список литературы

Авдейко Г.П., Гавриленко Г.М., Черткова Л.В. и др.

Подводная газогидротермальная активность на Северо-Западном склоне о. Парамушир (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1984. № 6. С. 66–81.

Аникеева Л.И., Казакова В.Е., Гавриленко Г.М., Рашидов В.А. Железомарганцевые корковые образования западно-тихоокеанской переходной зоны // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1. Вып. 11. С. 10–31.

Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусев А.А. Изучение рельефа поверхности кристаллического фундамента по данным магниторазведки // Геофизика. 2003. № 4. С. 37–40.

Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные геофизические исследования подводного вулкана 6.1 (Курильская островная дуга) // Геофизика. 2012а. № 2. С. 58–66.

Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Современные интерпретационные технологии при комплексном моделировании подводного вулкана Макарова (Курильская островная дуга) // Геоинформатика. 2012б. № 4. С. 8–17.

Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексное моделирование подводных вулканов 2.7 и 2.8 (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013а. № 1. Вып. 21. С. 77–85.

Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные геофизические исследования массива Рикорда (Курильская островная дуга) // Материалы региональной конференции, «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 29 – 30 марта 2013 г. / Отв. ред. академик РАН Е.И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013б. С. 167–173.

- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Геофизические исследования подводного вулканического центра вблизи юго-западной оконечности о. Симушир (Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 41-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, 27 января - 31 января 2014г. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2014а. С. 44-46.
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Комплексные геофизические исследования подводного вулкана 3.8 (Курильская островная дуга) // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 27-28 марта 2014 г. // Главный редактор: академик РАН Е.И. Гордеев Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014б. С. 144-151.
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Подводный вулкан Григорьева (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 5. С. 17-26.
- Блох Ю.И., Каплун Д.В., Коняев О.Н.* Возможности интерпретации потенциальных полей методами особых точек в интегрированной системе «СИНГУЛЯР» // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1993. № 6. С. 123-127.
- Блох Ю.И., Трусов А.А.* Программа «IGLA» для интерактивной экспресс-интерпретации локальных гравитационных и магнитных аномалий // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 34-й сессии международного семинара им. Д.Г.Успенского. М: ИФЗ РАН. 2007. С. 36-38.
- Бондаренко В.И.* Строение подводных кальдер по данным сейсмоакустического профилирования (на примере Курильской островной дуги). Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. М., 1990. 24 с.
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Исследования подводного вулканического хребта к северу от острова Сан-Бенедикто // Вулканология и сейсмология. 1995. № 6. С. 76-81.
- Гавриленко Г.М.* Подводная вулканическая и гидротермальная деятельность как источник металлов в железо-марганцевых образованиях островных дуг. Владивосток: Дальнаука, 1997. 164 с.
- Гавриленко Г.М., Храмов С.А.* Железо-марганцевые образования подводных склонов Курильской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 1986. № 2. С. 97-110.
- Горшков А.П.* Исследования подводных вулканов в 10-ом рейсе НИС «Вулканолог» // Вулканология и сейсмология. 1981. № 6. С. 39-45.
- Горшков А.П.* Особенности подводного вулканизма Новогвинейского моря // Вулканология и сейсмология. 1983. № 4. С. 23-39.
- Надежный А.М., Бондаренко В.И.* К вопросу о методике полигонных исследований на подводных вулканах // Вулканология и сейсмология. 1986. № 4. С. 34.
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Ответственный редактор академик Ю.М. Пушаровский. М.: Наука, 1992. 528 с.*
- Селиверстов Н.И., Бондаренко В.И.* Критерии диагностики и корреляции подводных вулканических образований по данным НСП // Вулканология и сейсмология. 1983. № 4. С. 80-95.

**APPLICATION OF MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES FOR INVESTIGATION
OF SUBMARINE VOLCANIC CENTRE NEAR THE SOUTH-WESTERN COAST
OF SIMUSHIR ISLAND, THE KURILE ISLAND ARC**

**Yu.I. Blokh¹, V.I. Bondarenko², A.S. Dolgal³, P.N. Novikova³, O.V. Pilipenko⁴,
V.A. Rashidov⁵, A.A. Trusov⁶**

¹*Moscow;*

²*Nekrasov State University in Kostroma, 156000;*

³*Mining Institute of the Ural Branch of the RAS, Perm, 614007;*

⁴*Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS; Moscow, 123995*

⁵*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006;*

⁶*CJSC «GNPP Aerogeofizika», Moscow, 107140*

The paper provides results from application of authors' modern computer technology designed for interpretation of materials from complex geophysical investigation of submarine volcanic centre near the south-western coast of Simushir Island, the Kurile island arc. Estimated magnetic properties of rocks in natural deposits showed that the most magnetized is the part of the volcanic centre 6.13 within the depth interval 480 to 950 m, where productive magnetization is about 3 A/m. The authors suggest a subvertical direction of feeding channels and a solidified peripheral magmatic chamber at a depth of 2.5 km. The main ferromagnetic carriers of magnetization are single-domain and pseudo-single-domain poor anisotropic grains of titano-magnetite and magnetite. Besides, the authors created an interpolation 3D model of the causative magnetic body.

Keywords: modeling technology, submarine volcanic centre, the Kurile island arc.