



УДК 550.83:551.214(265.53):681.3

Ю. И. Блох¹, В. И. Бондаренко², А. С. Долгаль³,
П. Н. Новикова³, В. А. Рашидов⁴, А. А. Трусов⁵

¹ Москва, *yuri_blokh@mail.ru*;

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

³ Горный институт УрО РАН, г. Пермь;

⁴ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский;

⁵ ЗАО «ГНИП Аэрогеофизика», г. Москва

Комплексные геофизические исследования подводного вулкана 3.8 (Курильская островная дуга)

С помощью оригинальной интерпретационной технологии изучен подводный вулкан 3.8, входящий в Чиринкотанскую группу подводных вулканов Курильской островной дуги.

Введение

Использование современных компьютерных технологий для обработки данных, полученных дальневосточными учёными в последней четверти XX в. при изучении Охотоморского склона Курильской островной дуги, в настоящее время находит широкое применение [1–11, 15].

Курильская островная дуга (КОД) — важный элемент зоны перехода от Азиатского материка к Тихому океану. КОД — типичная островная дуга Восточной Азии. Это классическая двойная дуга, состоящая из внутренней (вулканической) и внешней (тектонической) дуг, разделённых междуговым трогом. С юго-востока она сопряжена с Курило-Камчатским глубоководным желобом, а с северо-запада граничит с Курильской котловиной. Охотоморский склон КОД осложнен подводными вулканами.

В экспедициях с борта НИС «Вулканолог» для большей части КОД и прилегающих участков Охотского моря был выполнен комплекс морских геофизических работ (эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование, гидромагнитная съёмка) по системе пересекающихся галсов со средним межпрофильным расстоянием 5 км и со сгущением на отдельных участках до 0,5–1 км. Общий объём отработанных профилей ~ 60 000 погонных км. В пределах КОД выделено 8 вулканических зон [14].

Выделенные зоны находят своё отражение в структуре аномального магнитного поля ΔT_a исследуемой территории. Большинство подводных вулканов контрастно отражается в магнитном поле, им соответствуют интенсивные локальные аномалии, не нарушающие общий характер поля. Большая часть вулканических построек характеризуется намагниченностью, близкой к направлению современного магнитного поля Земли. Интенсивность локальных аномалий, наблюдаемых над подводными вулка-

нами КОД, изменяется от 70 до 1000 нТл. Выявлено большое количество высокоградиентных зон магнитного поля, горизонтальный градиент в пределах которых нередко превышает 100 нТл/км.

В настоящей работе с помощью оригинальной интерпретационной технологии [1–11] изучен подводный вулкан 3.8, входящий в состав Чиринкотанской подводной вулканической группы [14].

Подводный вулкан 3.8

Подводный вулкан 3.8 расположен на Охотоморском склоне КОД ~ в 47 км к юго-западу от о. Чиринкотан (рис. 1) и удалён от вулканического фронта на 77 км. Вулкан был изучен в 25 рейсе НИС «Вулканолог» в 1986 г.

Вулкан поднимается со дна Курильской котловины, глубина которой в этом месте достигает 3130 м и представляет собой довольно правильную изометрическую постройку с диаметром основания на поверхности дна ~ 6 км и относительной высотой ~ 950 м (рис. 2, 3, 4а).

Крутизна склонов, практически лишенных осадков, достигает 20–25°. Основание вулкана с налеганием перекрыто толщей горизонтально-слоистых осадков Курильской котловины, мощность которых составляет более 700 м. Размер погребенного под осадками основания вулкана — 10×11 км, а полная высота постройки ~ 1700 м. Объём постройки — около 50 км³. К подводной вулканической постройке приурочена положительная аномалия магнитного поля ΔT_a интенсивностью 300 нТл (рис. 4б).

К востоку от постройки подводного вулкана 3.8 на профилях непрерывного сейсмоакустического профилирования выделяется антиклинальная складка (рис. 2), которая на наш взгляд, может быть связана с внедрением магмы в осадочную толщу и образованием в связи с этим куполообразной структуры. Вершина куполообразной структуры в настоящее

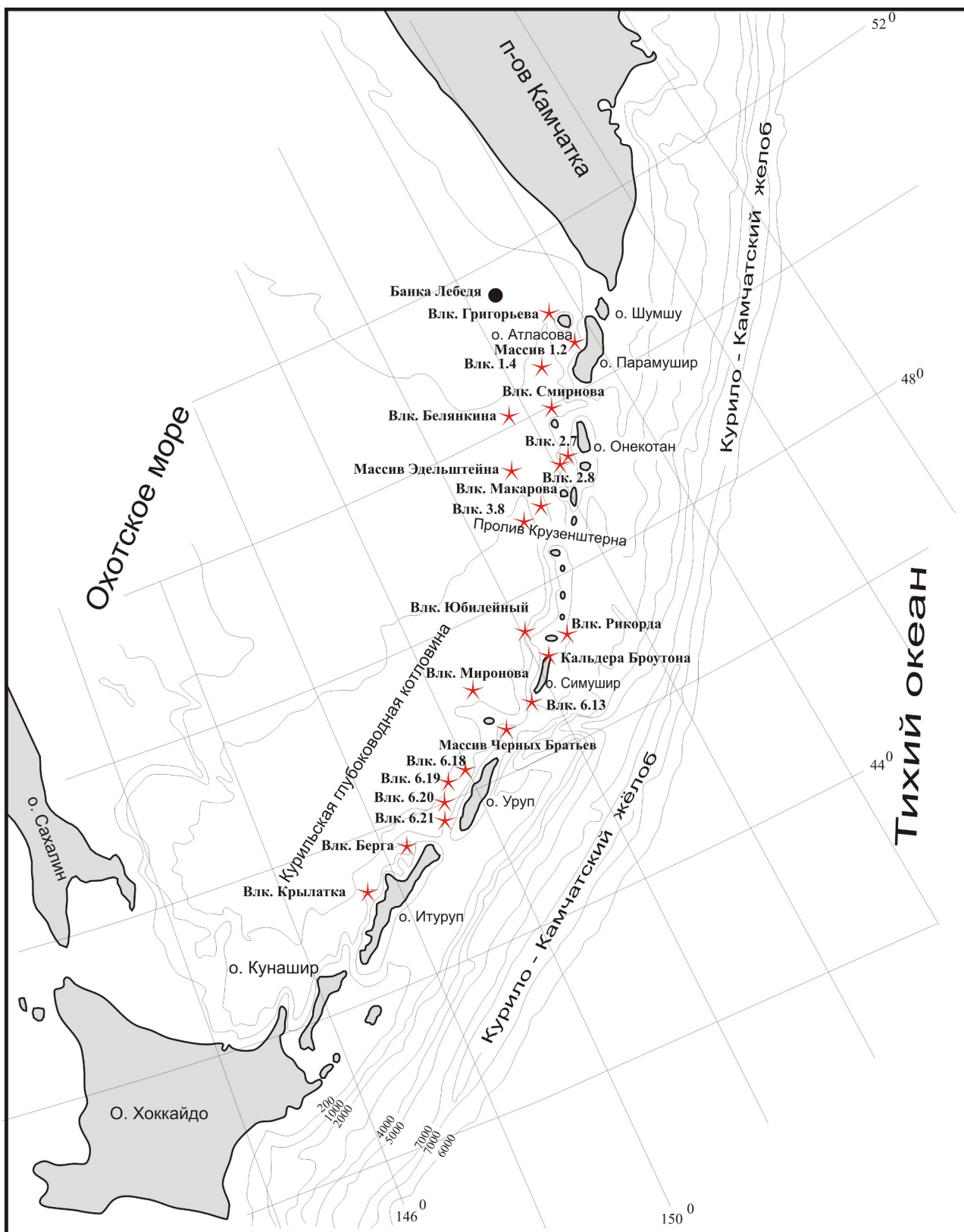


Рис. 1. Подводные вулканические постройки, изученные в пределах Охотоморского склона Курильской островной дуги с помощью оригинальной интерпретационной технологии.

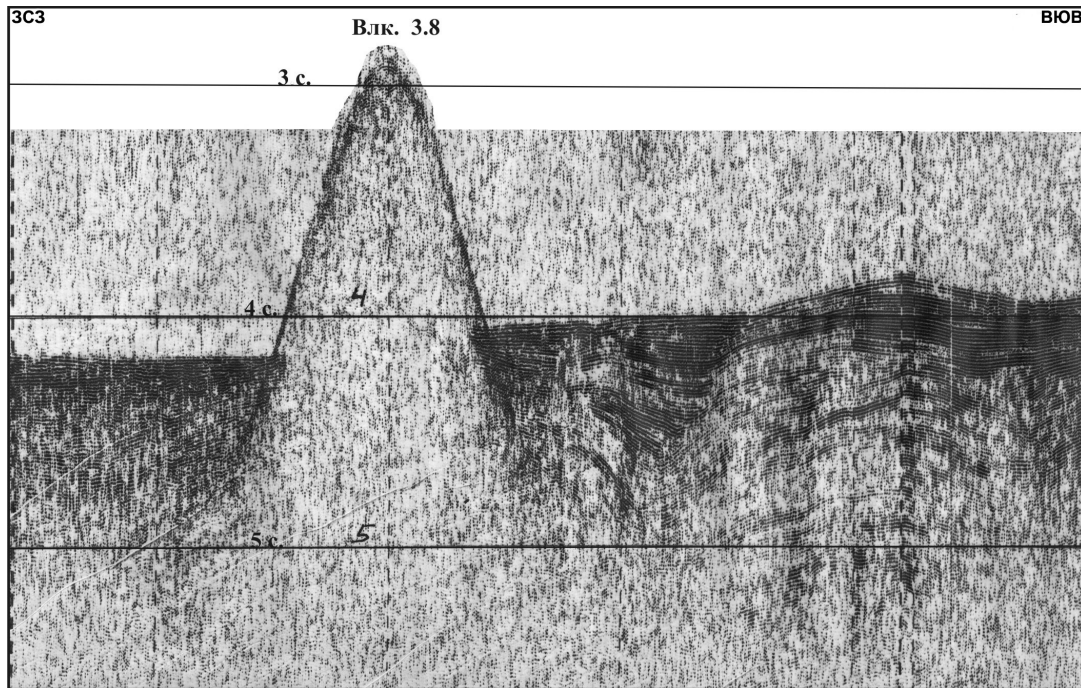


Рис. 2. Профиль А-А' непрерывного сейсмоакустического профилирования через подводный вулкан 3.8. Местоположение профиля представлено на рис. 4.

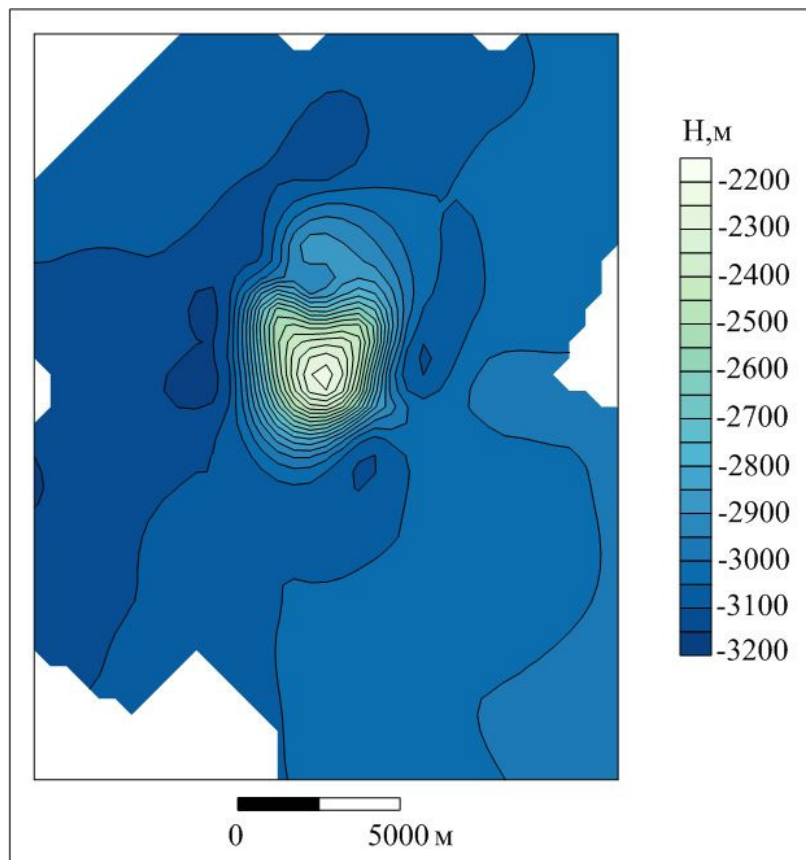


Рис. 3. Рельеф подводного вулкана 3.8.

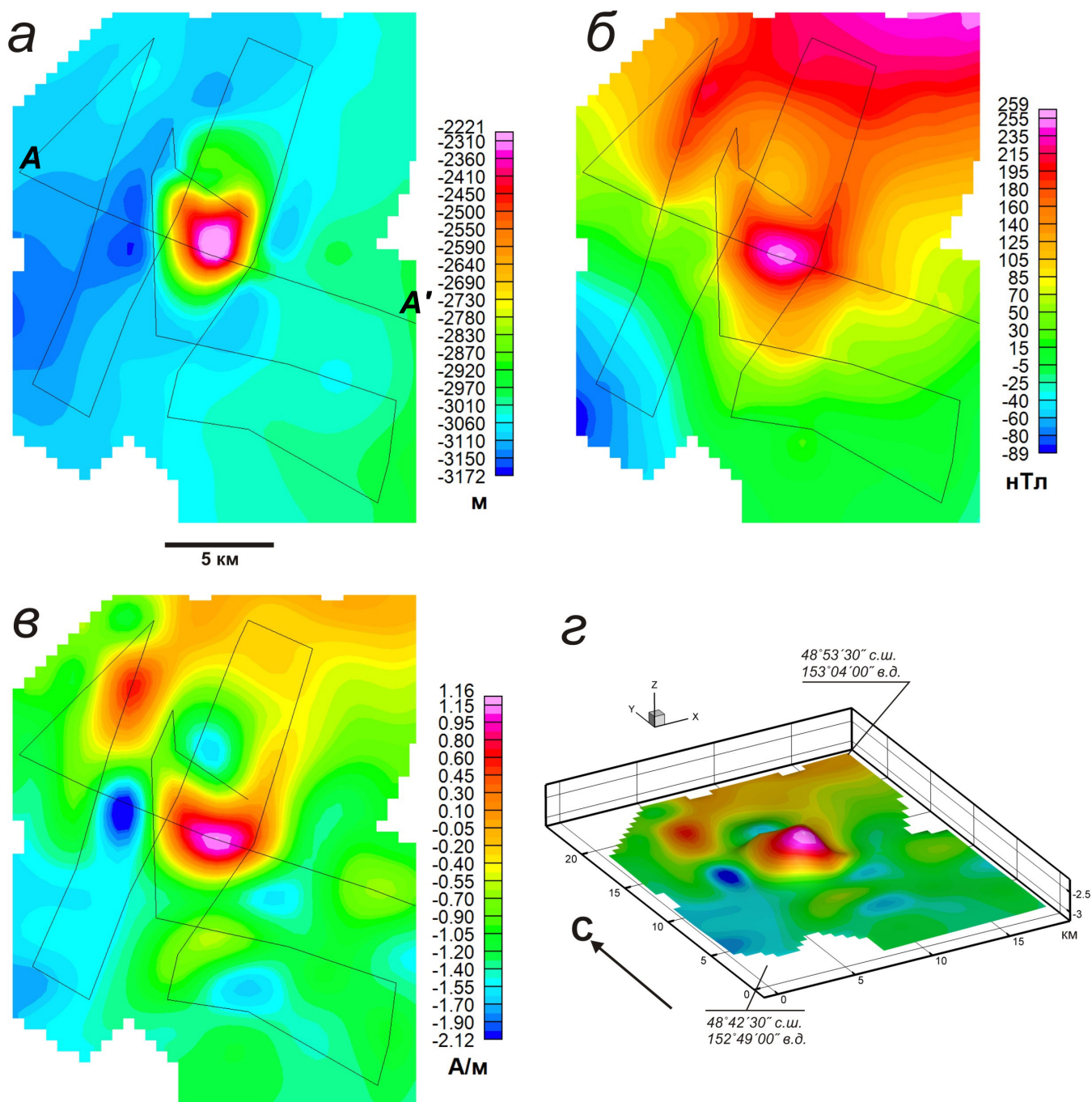


Рис. 4. Подводный вулкан 3.8: а — батиметрия; б — аномальное магнитное поле ΔT_a ; в — распределение эффективной намагниченности на поверхности вулкана; з — 3D распределение эффективной намагниченности, изображенное на поверхности вулкана. А-А' — местоположение профиля, представленного на рис. 2, 5 и 8.

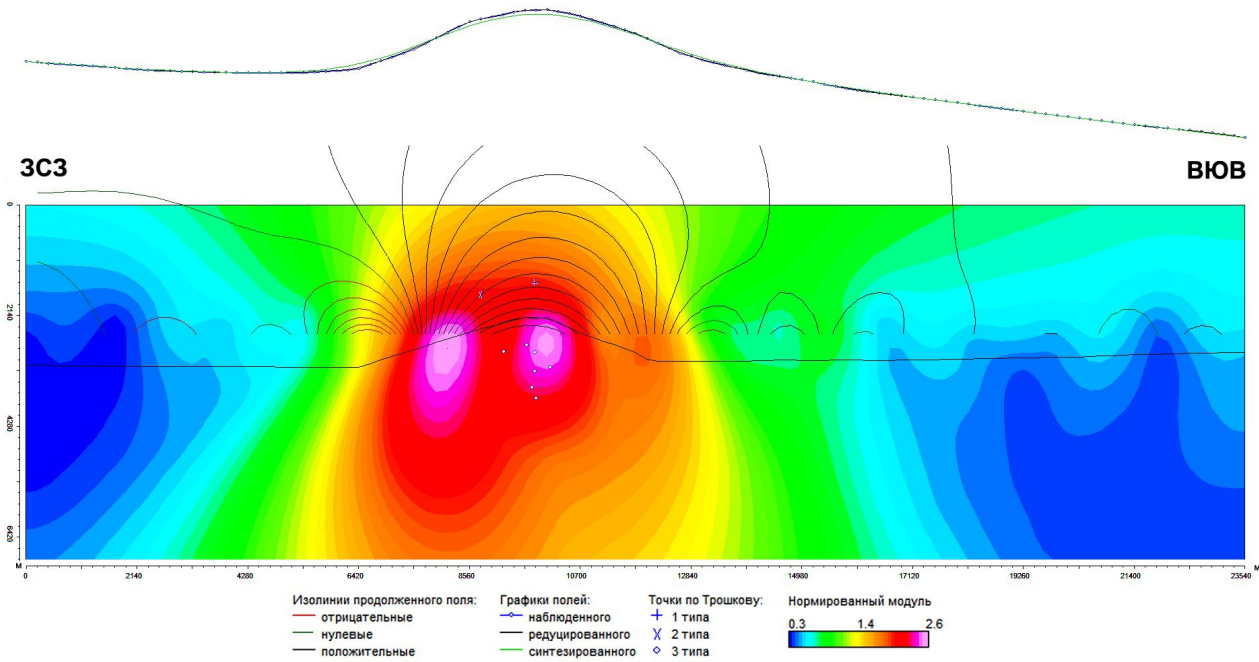


Рис. 5. Изображение, синтезированное системой СИНГУЛЯР для локализации особых точек функции, описывающей аномальное магнитное поле ΔT_a подводного вулкана 3.8 на профиле А-А', с наложенным рельефом дна по данным эхолотных промеров. Местоположение профиля представлено на рис. 4.

время находится на глубинах 3,8–4 сек распространения удвоенного времени сейсмического сигнала. Эта структура с облеканием перекрыта осадками и очень слабо выражена в рельефе дна.

К большому сожалению, драгирование вулканической постройки в рейсе не проводилось, и состав слагающих её пород не известен.

Интерпретация материалов комплексных геофизических исследований была выполнена с помощью оригинальной интерпретационной технологии моделирования данных гидромагнитной съёмки, разработанной авторами [1–11].

Применение интегрированной системы «СИНГУЛЯР» [11, 12] позволило предположить субвертикальное положение подводных каналов и наличие на глубине 2,8 км периферического магматического очага (рис. 5).

С помощью программы ИГЛА [13] уточнено, что вектор намагниченности пород имеет склонение 243° и наклонение 86° . Он отклонён от вектора нормального поля T_0 к юго-западу на угол около 30° (рис. 6).

Трёхмерное моделирование вулканической постройки с помощью программы REIST из пакета структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D [1] показало, что эффективная намагниченность вулкана 3.8 достигает 1,2 А/м (рис. 4в, 4г). Среднеквадратическая погрешность подбора аномального магнитного поля после 211 итераций составила 16 нТл. Наиболее интенсивно намагниченной является верхняя часть вулканической постройки.

Интересной особенностью результатов проведённой интерпретации является наличие изометричных минимумов эффективной намагниченности, оконтуривающих основание вулкана 3.8 (рис. 4в, 4г). Аналогичное расположение минимумов эффективной намагниченности, полученное при комплексном изучении подводных вулканов КОД, наблюдается для расположенного в 23 км к северо-востоку от вулкана 3.8 подводного вулкана Макарова [3, 4, 14]. Вполне вероятно, что, как и на вулкане Макарова, эти минимумы здесь связаны с побочными структурами, возникшими в результате извержений из боковых каналов.

При проведении интерпретационной томографии магнитного поля не выявлено каких-либо прослеживающихся на глубину контрастно намагниченных объектов и установлена повышенная намагниченность горных пород на поверхности вулканической постройки (рис. 7).

Решение смешанной обратной задачи магниторазведки монтажным методом проводилось для трёх профилей при невязке наблюдаемого и модельного полей, не превышающей 7 нТл. Наиболее показательными являются результаты моделирования по протяженному профилю А-А', проходящему через центр постройки (рис. 4, 8). Выявлен крутопадающий магнитовозмущающий блок горных пород, распространяющийся до глубины порядка 12 км. Величина средней эффективной намагниченности этого блока 1,5 А/м, а угол намагничения отличается от вертикального на 15° . По боковым профилям

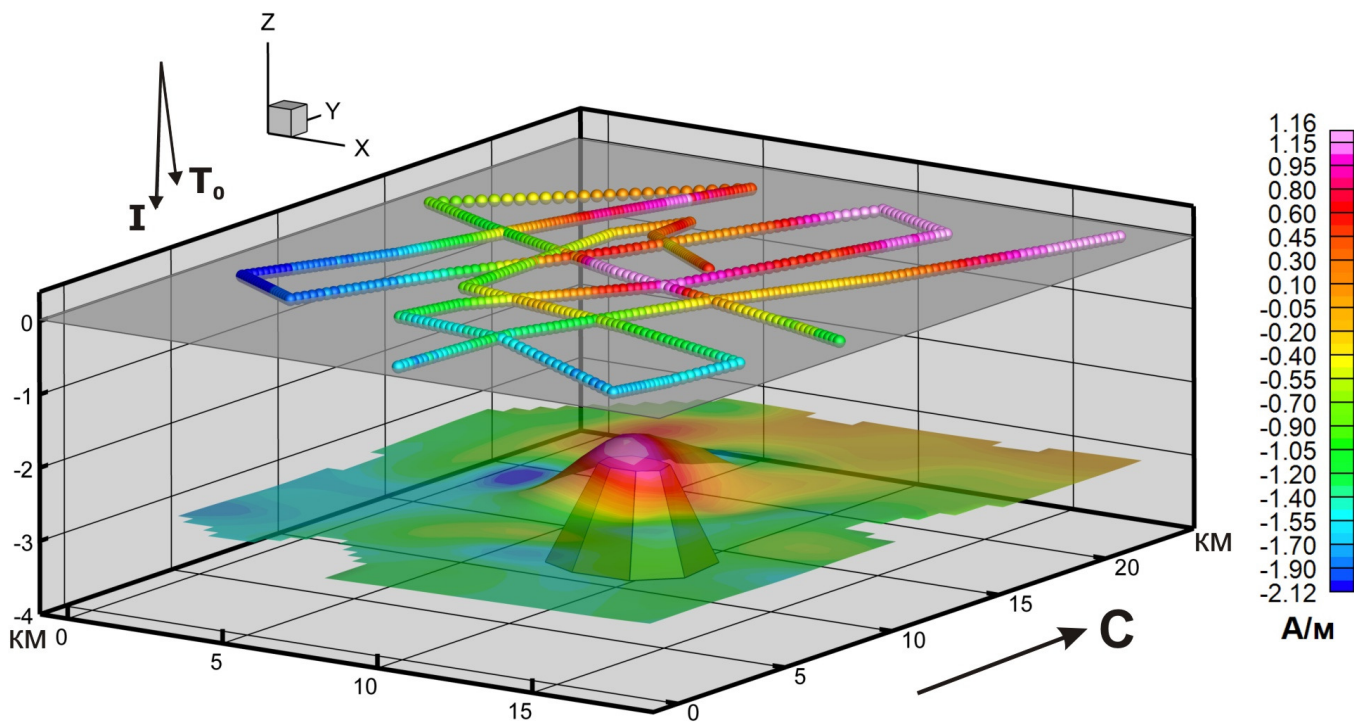


Рис. 6. Уточнение ориентировки вектора намагниченности пород подводного вулкана 3.8 с помощью программы ИГЛА.

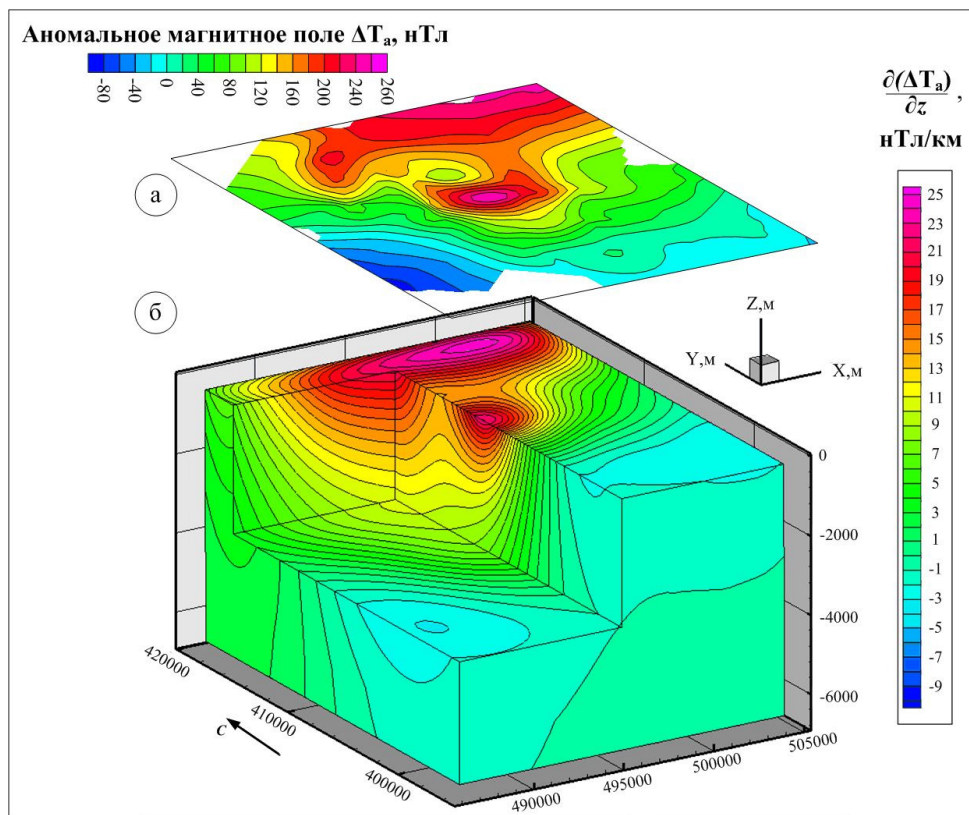


Рис. 7. 3D-диаграмма квазинамагниченности, построенная по результатам интерпретационной томографии магнитного поля.

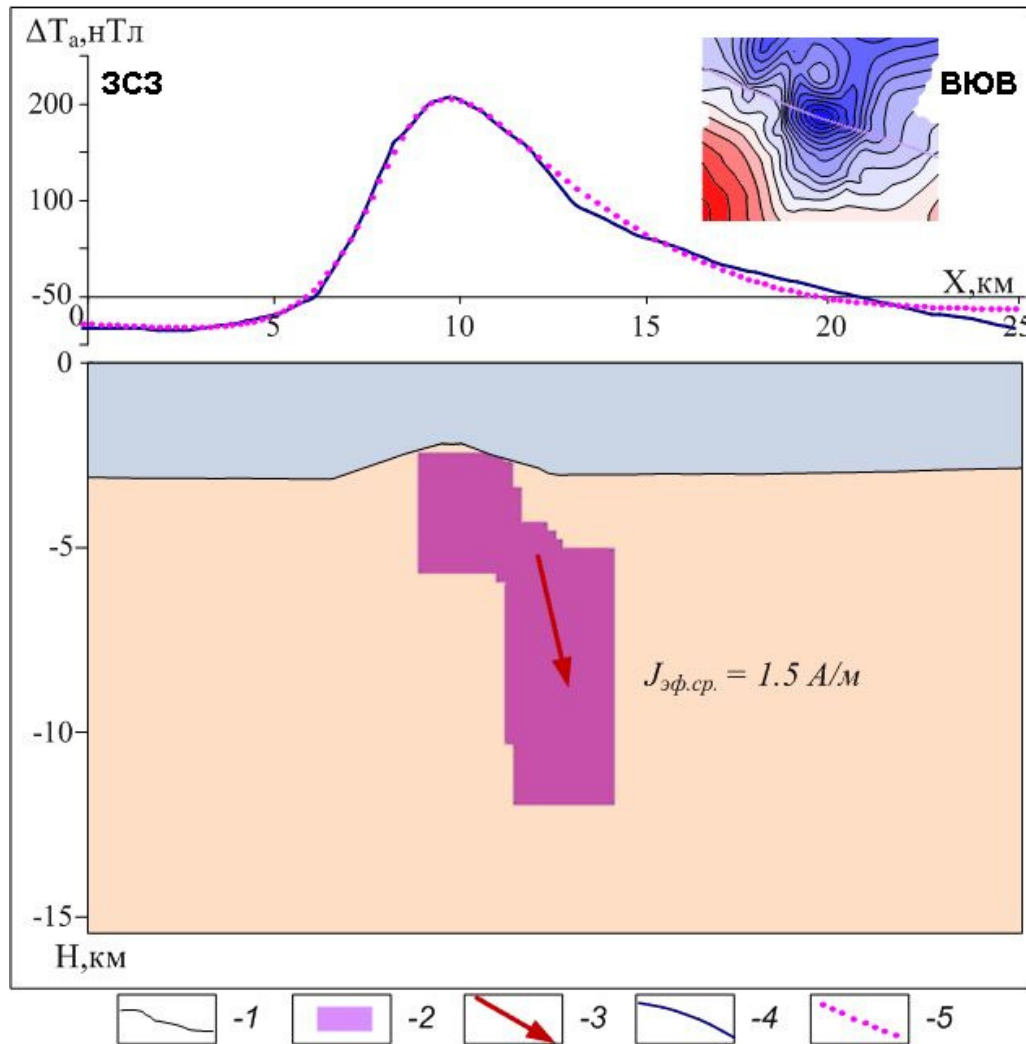


Рис. 8. Результаты решения смешанной обратной задачи монтажным методом для профиля А-А': 1 – рельеф постройки по данным эхолотного промера; 2 – подобранный объект; 3 – вектор эффективной намагниченности объекта; 4 – наблюдаемое магнитное поле ΔT_a ; 5 – модельное магнитное поле $\Delta T_{\text{мод}}$. Местоположение профиля представлено на рис. 4.

проследить этот блок не удалось, что, возможно, говорит о его небольших поперечных размерах. Отмечается расширение магнитовозмущающего блока ближе к вершине вулкана. По своему глубинному строению, подводный вулкан 3.8 идентичен подводному вулкану Макарова [3, 4].

Основываясь на полученных для вулкана 3.8 величинах эффективной намагниченности, результатах лабораторного изучения магнитных свойств горных пород, драгированных на вулкане Макарова [3, 4], и учитывая пространственную близость расположения этих построек, можно предположить, что эта вулкан 3.8, вероятнее всего, сложен базальтами и андезибазальтами.

Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что размер погребённого под осадками основания вулкана 3.8 – 10×11 км, а полная высота постройки ~ 1700 м. Крутизна склонов вулкана,

практически лишённых садков, достигает $20\text{--}25^\circ$. С востока к вулкану примыкает погребённая интрузивная куполообразная структура.

Выполнена оценка магнитных свойств горных пород, слагающих вулканическую постройку, в естественном залегании. Сделаны предположения о наличии на глубине 2,8 км периферического магматического очага и субвертикальном положении подводных каналов.

Выявлен крутопадающий магнитовозмущающий блок горных пород, распространяющийся до глубины порядка 12 км, имеющий среднюю величину эффективной намагниченности 1,5 А/м и угол намагничивания, отличающийся от вертикального на 15° .

Результаты выполненной интерпретации геофизических материалов позволяют предположить, что подводный вулкан 3.8 генетически связан с расположенным в 23 км к северо-востоку от него подводным вулканом Макарова и сложен базальтами и андезибазальтами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 12-05-00 156-а и 12-05-00 414-а) и программы ОНЗ РАН 12-Т-5-1012.

Список литературы

1. *Бабаянц П. С., Блох Ю. И., Бондаренко В. И. и др.* Применение пакета программ структурной интерпретации СИГМА-3D при изучении подводных вулканов Курильской островной дуги // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 2. Вып. 6. С. 67–76.
2. *Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Долгаль А. С. и др.* Комплексные геофизические исследования подводного вулкана 6.1 (Курильская островная дуга) // Геофизика. 2012. № 2. С. 58–66.
3. *Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Долгаль А. С. и др.* Стрoение подводного вулкана Макарова (Охотоморский склон Курильской островной дуги) // Материалы региональной конференции, «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 2–30 марта 2012 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 19–24.
4. *Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Долгаль А. С. и др.* Современные интерпретационные технологии при комплексном моделировании подводного вулкана Макарова (Курильская островная дуга) // Геоинформатика. 2012. № 4.
5. *Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Долгаль А. С. и др.* Современные технологии при интерпретации геофизических полей подводных вулканов Курильской островной дуги // Материалы II Школы – семинара «Гординские чтения» Москва, 21–23 ноября 2012 г. М.: ИФЗ РАН, 2012 г. С. 19–23.
6. *Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Долгаль А. С. и др.* Комплексное моделирование подводных вулканов 2.7–2.8 (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. Вып. 21. С. 77–85.
7. *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», посвящённой Дню вулканолога, 29–30 марта 2013 г. / Отв. ред. академик РАН Е. И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 167–173.
8. *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. Успенского Д. Г., Екатеринбург, 28 января – 1 февраля 2014 г. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2014. С. 44–46.
9. *Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Рашидов В. А., Трусов А. А.* Подводный вулкан Григорьева (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 5. С. 7–26.
10. *Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Рашидов В. А., Трусов А. А.* Подводный вулкан Берга (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. 12. С. 70–75.
11. *Блох Ю. И., Бондаренко В. И., Рашидов В. А., Трусов А. А.* Применение интегрированной системы «СИНГУЛЯР» для изучения глубинного строения подводных вулканов Курильской островной дуги // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 37-й сессии Международного семинара им. Успенского Д. Г., Москва, 25–29 января 2010 г. М.: ИФЗ РАН, 2010. С. 62–65.
12. *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.
13. *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. Успенского Д. Г.. М.: ИФЗ РАН, 2007. С. 36–38.
14. *Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Отв. ред. Пушаровский Ю. М. М.: Наука, 1992. 528 с.*
15. *Сеначин В. Н., Веселов О. В., Семакин В. П., Кочергин Е. В.* Цифровая модель земной коры Охотоморского региона // Геоинформатика. 2013. № 4. С. 33–44.