

*На правах рукописи*

**Рашидов Владимир Александрович**

**ГЕОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИХ  
ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА**

25.00.03 – геотектоника и геодинамика  
25.00.10 - геофизика, геофизические методы поисков  
полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Петропавловск-Камчатский – 2010

Работа выполнена в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Авдейко Геннадий Порфирьевич

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится « » 2010 г.  
в часов на заседании Диссертационного совета Д 002.001.01 при Учреждении Рос-  
сийской академии наук Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН по адресу 123995,  
г. Москва, ул. Большая Грузинская, 10.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2010 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Институт физики Земли

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук

О.В. Пилипенко.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Всестороннее изучение Мирового океана является одной из важнейших и насущных задач, стоящих перед современной наукой. Оно возможно только при объединении усилий ученых различных специальностей из разных стран и выполнении работ по национальным и международным проектам. В комплексе решаемых проблем большое место принадлежит и геологическим наукам.

Одной из характерных особенностей океанического дна является широкое развитие подводных гор. Подводные горы встречаются во всех основных морфоструктурах Мирового океана, представляя собой как изолированные постройки, так и различные цепи и группы. Большинство подводных гор представляют собой подводные вулканы, имеющие, как правило, конусообразную форму. Сложены они, в основном, вулканогенными породами. Небольшое количество подводных гор имеет глыбовое происхождение (Агапова и др., 1979а, 1979б). Они сложены, как правило, осадочными и метаморфическими породами и практически не отражаются в магнитных полях. Встречаются как островершинные, так и плосковершинные горы. Вершины многих подводных гор поднимаются над поверхностью воды, образуя вулканические острова. На многих подводных вулканах развиты железомарганцевые образования (ЖМО).

Подавляющее число подводных гор Тихого океана имеют вулканическую природу. Здесь насчитывается около 7000 подводных гор, имеющих относительную высоту более 500 м (Ларина, 1975). Большинство подводных гор расположено в западной и северо-западной частях Тихого океана (Агапова, 2008; Жулева, 2004; Седов, 1982; Удинцев, 1972), где они вместе с наземными вулканами составляют Тихоокеанское огненное кольцо.

Вулканизму принадлежит главенствующая роль в формировании океанической коры, второй слой которой почти целиком сложен продуктами деятельности подводных вулканов, и ведущая роль в преобразовании океанической коры в континентальную. В формировании континентальной коры активно участвуют наземные и подводные вулканы островных дуг и окраинных морей. Для вулканов островных дуг характерны породы известково-щелочной серии от базальтов до дацитов. Для подводных вулканов, вершины которых располагаются глубже первых сотен метров, характерны лавовые излияния. Эксплозивные извержения резко преобладают у субаквальных вулканов.

Современная подводная вулканическая деятельность приурочена к рифтовым зонам срединно-океанических хребтов и осложняющим их трансформным разломам, к «горячим точкам», к островным дугам и окраинным морям. Это, по сути, различные геотектонические типы вулканизма, отличающиеся условиями проявления, составом изверженных продуктов, характером извержений и другими особенностями. Закономерности пространственного распределения подводных вулканов, характер их деятельности и состав продуктов извержений наиболее полно отражены в работах Г.П. Авдейко (1979; 1993). Современный подводный вулканизм по объему продуктов извержений ~ в 4 раза превосходит наземный. Объем продуктов вулканической деятельности в окраинных морях оценивается ~ в 0.3-0.4 км<sup>3</sup>/год (Авдейко, 1979, 1993), а в срединно-океанических хребтах он составляет ~ 4.5-6.25 км<sup>3</sup>/год (Кувикас, 2007). Для подводных вулканов островных дуг такие подсчеты не производились, но исходя из того, что количество подводных извержений в островных дугах значительно меньше, чем наземных, объем продуктов вулканической деятельности не должна превышать 0.3-0.5 км<sup>3</sup>/год.

Исследование эволюции переходных зон является одной из фундаментальных задач геотектоники и геодинамики. Изучение строения зоны перехода от материков к Тихому океану представляет несомненный интерес, так как здесь в настоящее время происходят интенсивные геологические процессы, поверхностным проявлением которых являются высокая сейсмичность и современный вулканизм, оказывающие огромное воздействие на природную среду и жизнедеятельность людей. Поэтому изучение активных и потенциально активных подводных вулканов представляет собой актуальную задачу исключи-

тельной важности и позволяет в какой-то мере предотвратить разрушительную силу подводных извержений.

Особое место в ряду методов, применяемых сегодня для изучения подводного вулканизма, занимают геомагнитные исследования. Подводные вулканы, как правило, отчетливо проявляются в потенциальных полях. Анализ карт аномального магнитного поля открывает путь к изучению внутреннего строения вулкана, его эволюции, определению возраста образования вулкана, характеристик слагающих его пород, тектоники районов исследования и к поиску новых подводных вулканов. Он также позволяет судить о природе проявлений подводной вулканической деятельности и рудообразовании в изученных регионах. Изучение контрастных магнитных свойств пород, слагающих подводные вулканы, позволяет получать данные об условиях их образования.

В настоящей работе рассматриваются подводные вулканы окраинных морей и островных дуг (ОД) западной части Тихого океана. Оригинальный фактический материал, собранный при проведении геомагнитных исследований с борта НИС «Вулканолог» в период 1977-1991 гг. в 19-ти вулканологических экспедициях, обобщение, систематизация и анализ полученных данных, существенно дополнили существующие в мире представления о строении этого региона. Получена новая информация о строении подводных вулканов, масштабах и формах проявления подводной вулканической деятельности, имеющая важное значение для изучения тектоники и геодинамики Тихого океана.

**Цель работы** – сравнительный анализ аномального магнитного поля (АМП) позднекайнозойских подводных вулканов западной части Тихого океана, изучение внутреннего строения вулканов и их эволюции; особенностей, масштабов, продолжительности и форм проявления подводной вулканической деятельности.

**Основные задачи исследований.** В соответствии с поставленной целью работа посвящена решению следующих задач:

- отработка и совершенствование методики изучения подводных вулканов;
- проведение анализа данных модульной гидромагнитной съемки (ГМС) позднекайнозойских подводных вулканов западной части Тихого океана;
- изучение внутреннего строения подводных вулканов и их эволюции на основе интерпретации оригинальных материалов;
- изучение особенностей, масштабов и формы проявления подводной вулканической деятельности в различных морфоструктурах западной части Тихого океана;
- изучение магнитных характеристик горных пород, слагающих позднекайнозойские подводные вулканы западной части Тихого океана.

**Научная новизна.** Впервые выполнены комплексные вулканологические исследования 125 подводных вулканов Тихого океана. Отработана методика применения ГМС в комплексе с данными эхолотного промера, одноканального непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) в модификации метода центрального луча и драгирования для изучения подводных вулканов в Тихом океане. По сути НИС «Вулканолог» представлял собой плавучую лабораторию для проведения натурных исследований. Детально изучены позднекайнозойские подводные вулканы Новогвинейского (Бисмарка) и Южно-Китайского (Восточного) окраинных морей, Кермадек, Соломоновой, Марианской, Идзу-Бонинской (Огасавара) и Курильской островных дуг, а также подводный вулканический хребет в районе «горячей точки» Сокорро (о-ва Ревилья-Хихедо) и меловые гайоты Магеллановых гор (рис. 1).

Обнаружены новые, в том числе и действующие, подводные вулканы в Южно-Китайском море, Кермадек и Курильской островных дугах. Прослежена эволюция вулканических построек и оценены масштабы проявления подводной вулканической деятельности в окраинных морях и островных дугах западной части Тихого океана.

Для ряда подводных вулканов проведена интерпретация материалов ГМС на основе 2D, 2.5D и 3D моделирования с привлечением данных эхолотного промера, НСП, геологического опробования и изучения физических свойств драгированных образцов.

Для решения задач систематизации, хранения и визуализации полученных в экспедициях НИС «Вулканолог» данных, создан веб-сайт «Сравнительный анализ материалов геомагнитных исследований различных типов проявлений позднекайнозойского подводного вулканизма в Тихом океане», являющийся в настоящее время единственной обобщающей работой по геомагнитным исследованиям позднекайнозойских подводных вулканов Тихого океана.

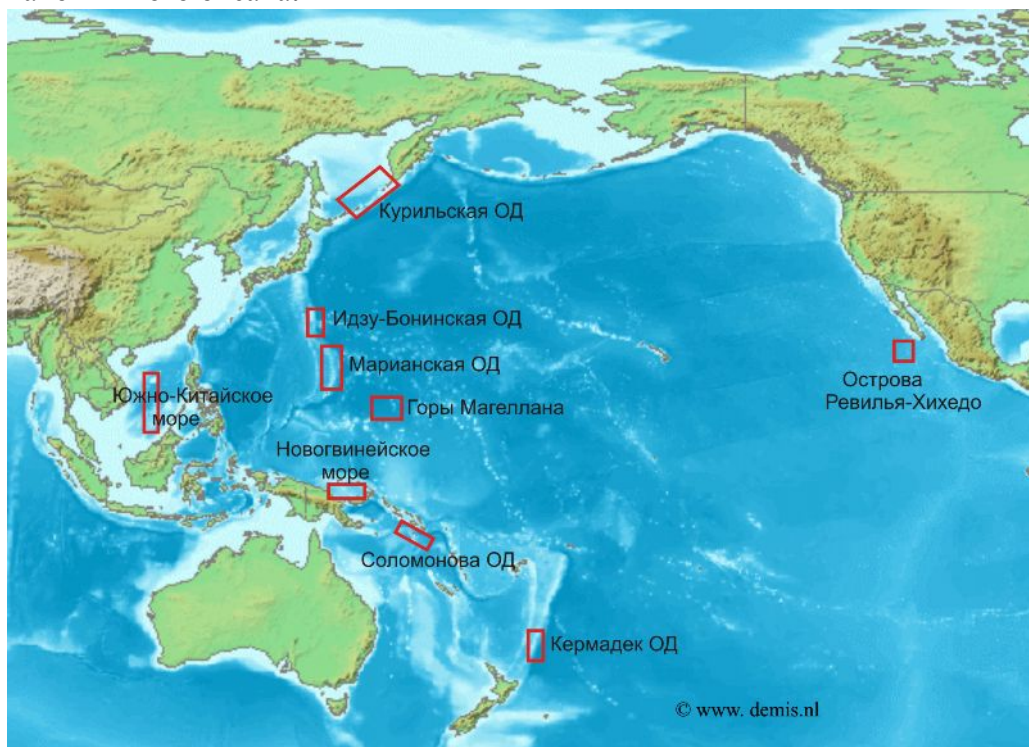


Рис. 1. Районы исследований подводного вулканизма с борта НИС «Вулканолог».

На сайте виде таблиц представлены «Каталог позднекайнозойских подводных вулканов Тихого океана», объемы подводных вулканических построек и результаты изучения магнитных и химических свойств драгированных образцов. Описаны 312 подводных вулканов, для 124 из них даны объемы построек. Для 83 вулканов приведены сведения о химическом составе, а для 23 вулканов - магнитные свойства драгированных пород.

**Практическая значимость.** Изложенные в работе результаты геомагнитных исследований подводных вулканов вошли в отчеты по теме ГКНТ и ФЦП «Мировой океан». Они представлены в монографиях «Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги» (1992), «Геотраверс Северо-Китайская равнина - Филиппинское море - Марианский желоб» (1992) и вошли составной частью в «Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана» (2003).

Материалы ГМС, эхолотного промера и результатов геологического опробования, выполненных в пределах акватории Южных Курил, использованы Сахалинской геологоразведочной экспедицией при составлении комплекта Государственной геологической карты масштаба 1:200000 Курильской серии, о чем имеется акт о внедрении.

Данные ГМС переданы в Международный центр данных и Центр океанографических данных. Материалы ГМС, выполненной в районах Кермадек и Соломоновой островных дуг переданы новозеландским ученым и ученым Соломоновых островов, а проведенные на акваториях Южно-Китайского и Новогвинейского окраинных морей – соответственно ученым Вьетнама и Папуа-Новой Гвинеи. Результаты геомагнитных исследований, в районе острова Сан-Бенедикто и в Центрально-Американском желобе предоставлены мексиканским коллегам. Часть фактического материала, положенного в основу данной работы, передана в виде каталогов и карт для практического применения в ИЗМИРАН, ЛО ИЗМИРАН, ИМГиГ ДВО РАН, НИИГА, СТГЭ и другие организации. Некоторые ори-

гинальные карты, построенные автором, представлены в качестве иллюстрирующего материала в публикациях отечественных и иностранных коллег. Созданные web-сайт и каталог доступны широкому кругу пользователей.

#### **Основные защищаемые положения.**

1. Разработана весьма эффективная методика применения ГМС в комплексе с данными эхолотного промера, НСП и драгирования, позволившая идентифицировать и детально изучать подводные, в том числе и погребенные под осадками, вулканические постройки.

2. Изучены внутреннее строение подводных вулканов, оценены масштабы, форма, а в некоторых случаях, определить и стадийность проявления подводной вулканической деятельности в результате комплексной интерпретации полученных данных. В пределах вулканических построек выделены лавовые потоки, пробки, вершинные кальдеры и различные блоки.

3. Выявлено, что для окраинных Новогвинейского и Южно-Китайского морей характерны трещинные излияния к которым приурочены высокочастотные аномалии магнитного поля ( $\Delta T$ )а. В пределах Кермадек, Соломоновой, Марианской, Идзу-Бонинской и Курильской островных дуг развиты молодые изолированные вулканы, вулканические массивы и группы к которым приурочены четкие локальные аномалии магнитного поля.

**Личный вклад автора и фактический материал.** В работе приводятся результаты, полученные при обработке данных ГМС, проведенной с борта НИС «Вулканолог» в период 1977-1991 гг. в 19-ти вулканологических экспедициях, в 14-ти из которых автор принимал непосредственное участие в различных должностях: от инженера до начальника экспедиции. Автор руководил 23 рейсом НИС «Вулканолог», в рамках которого были выполнены работы по международному проекту «Геотраверс Филиппинского моря». Автор принимал участие в открытии действующих подводных вулканов в Южно-Китайском море, Кермадек и Курильской островных дугах. При участии автора одному из гайотов Магеллановых гор Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 февраля 2010 г. № «О присвоении наименований географическим объектам в Тихом океане» присвоено официальное название «Вулканолог». Под руководством автора создан веб-сайт «Сравнительный анализ материалов геомагнитных исследований различных типов проявлений позднекайнозойского подводного вулканизма в Тихом океане».

**Апробация работы.** Результаты выполненных исследований и основные положения работы докладывались и обсуждались на 4, 5 и 8 Всесоюзных семинарах «Фундаментальные проблемы морских электромагнитных зондирований» (г. Звенигород 1981, 1983 и 1990 гг.); Международном симпозиуме «Строение и динамика переходных зон» (г. Сочи, 1983 г.); 1 и 3 Тихоокеанских школах по морской геологии (г. Владивосток, 1983 и 1987 гг.); на совещании «Гравитационные и магнитные поля Востока СССР и Тихого океана» (г. Хабаровск, 1983 г.); 5, 6 и 7 Всесоюзных вулканологических совещаниях (г. Тбилиси, 1980 г., г. Петропавловск-Камчатский, 1985 г., г. Иркутск, 1991 г.); Всесоюзной конференции «Корреляция геофизических полей Мирового океана» (г., Звенигород, 1985 г.); на 1 Советско-Вьетнамском семинаре «Молодой вулканизм на территории СРВ» (г. Хошимин, 1982 г.); на 1 Конференции по геологии Индокитая (г. Хошимин, 1986 г.); на 3 Советско-Китайском симпозиуме «Геология, геофизика, геохимия и минеральные ресурсы окраинных морей Тихого океана» (г. Владивосток, 1989 г.); на 1 и 3 интернациональных совещаниях «Магнитные, электрические и электромагнитные методы в сейсмологии и вулканологии» (г. Позитано, 1995 г., Москва, 2002); на международных конференциях «Современный вулканизм Курило-Камчатской, Японской и Алеутско-Аляскинской островных дуг» (г. Петропавловск-Камчатский, 1998 г.; Саппоро, 2006 г.; Анкорридж, 2009 г.), На 32-37 сессиях международного семинара «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» им. Д.Г. Успен-

ского (Екатеринбург, 2006 г., Москва, 2007 и 2010 гг., Казань, 2009); на Международном симпозиуме «Проблемы эксплозивного вулканизма» (Петропавловск-Камчатский, 2006); на XVII и XVIII Международных научных конференциях по морской геологии (Москва, 2007, 2009); на 3 Всероссийском Симпозиуме по вулканологии и палеовулканологии (Петропавловск-Камчатский, 2009) и еще на ряде конференций и совещаний различного уровня.

**Публикации.** Автором лично и в соавторстве по теме диссертации опубликовано 149 работ, из них 3 главы - в монографиях, а 38 статей - в журналах, входящих в перечень ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из «Введения», 5 глав, «Заключения» и содержит 311 страниц текста, включая 137 рисунков и 4 таблицы. Библиографический список включает 457 наименований.

**Благодарности.** Автор благодарит многочисленных коллег по экспедиционным исследованиям и, в первую очередь, Г.П. Авдейко, В.И. Бондаренко, В.Н. Дубровского, А.Н. Иваненко, Г.П. Пономарева, Н.И. Селиверстова, В.А. Сергеева, О.Б. Селянгина, А.В. Колоскова, А.Ю. В.И. Гусеву и И.А. Маркова, за плодотворную совместную работу.

Искреннюю благодарность автор выражает своим соавторам Ю.И. Блоху, А.А. Трусову, И.М. Романовой, А.А. Палуевой, П.С. Бабаянцу, А.С. Долгалю, Ю.Г. Гатинскому, Ю.В. Брусиловскому, А.Г. Родникову, Л. П. Забаринской, Н.А. Сергеевой, В.В. Матвеевскому, А.В. Дубинину, Л.П. Аникину, Д.Р. Акмановой, П.Н. Новиковой.

Автор благодарен Т.П. Кирсановой, Л.К. Шаруновой, Н.Ф. Марковой и Е.Б. Весна за консультации и помощь в различных вопросах.

Весьма полезными автор считает свои контакты с многочисленными коллегами из разных академических, учебных и производственных организаций России, ближнего и дальнего зарубежья, которые способствовали написанию диссертации.

Светлую память автор хранит о И.И. Гурвиче, М.В. Муратове, А.М. Карасике, В.М. Гордине, Г.М. Гавриленко, В.А. Сологубе, О.Н. Волынце, А.П. Горшкове, В.Д. Феофилактове, Е.А. Сапожникове, В.В. Баснаке, Л.В. Чертковой, И.М. Нуждине, Л.М. Грамм-Осипове, П.А. Строеве, Р.Д. Родниковой, Л.И. Аникеевой, А.П. Седове, Л.А. Савостине, В.М. Новоселицком.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** диссертации сформулированы актуальность проблемы, изложены цели и задачи исследований, показаны научная новизна, практическая значимость и структура работы.

### **Глава 1. Краткий обзор состояния проблемы и методика работ.**

Морская магнитометрия является одним из древнейших направлений в изучении магнитного поля Земли и геологического строения дна Мирового океана (Гордин, 2004), а гидромагнитная съемка играет существенную роль при комплексном исследовании подводного вулканизма. В последние 50 лет геомагнитные исследования подводных вулканов (гор) получили широкое распространение. Для АМП Мирового океана характерно наличие четких локальных аномалий, отмеченных над подводными вулканами. К постройкам приурочены локальные аномалии, не нарушающие общую структуру аномального магнитного поля. Магнитные аномалии, приуроченные к подводным вулканам, имеют амплитуду, достигающую 3000 нТл и горизонтальные градиенты превышающие 200 нТл/км. Обычно наблюдается хорошая корреляция аномального магнитного поля подводных вулканов с их современным рельефом. Встречаются и практически «немагнитные» подводные горы (Геофизика..., 1974; Городницкий, 1985; Деменицкая и др., 1978; Harrison, 1971). Последние были исследованы нами в Южно-Китайском море. Анализ аномального магнитного поля наблюдаемого над подводными вулканами свидетельствует о том, что наблюдаемые локальные аномалии представляют собой суперпозицию магнитного эффек-

та от самой вулканической постройки и ее глубинных корней. Изучение магнитных характеристик образцов горных пород отобранных на подводных вулканах показывает, что эти образцы обладают остаточной намагниченностью во много раз превышающей индуцированную. В областях проявления современного подводного вулканизма, горные породы сильно дифференцированы по своим магнитным характеристикам (Блох и др., 2006а, 2006б; Бондаренко, Рашидов, 1995; Горшков и др., 1980; Подводный..., 1992; Рашидов, 2001а; 2001б; Рашидов, Бондаренко, 1998, 2003, 2004; Рашидов и др., 1981, 2002; Рашидов, Сапожников, 2001).

На наш взгляд следует весьма осторожно относиться к классификациям подводных гор по характеру АМП (Городницкий, 1975; Городницкий, Корякин, 1983; Городницкий, Ушаков, 1977; Деменицкая и др., 1967, 1974), так как каждый подводный вулкан представляет собой сложное многоэтапное геологическое образование с присущими только ему характеристиками, а намагниченность вулканических построек вызвана различными процессами.

Со времен пионерских исследований АМП подводных вулканов исследовались палеомагнитные характеристики, геологическое строение и эволюция этих объектов, т.е. развивались два взаимодополняющих направления. При палеомагнитном изучении на основе совместного анализа результатов ГМС и эхолотного промера, вычисляется величина и направления вектора эффективной намагниченности, а затем координаты виртуальных палеомагнитных полюсов. Это позволяет оценить возраст образования вулканических построек, а при наличии данных об абсолютном возрасте пород, слагающих вулкан – проводить геодинамические реконструкции. При геолого-структурном изучении на основе геомагнитного моделирования и определения магнитные свойства драгированных пород исследуются внутреннее строение построек и их эволюция.

Первоначально вулканические постройки аппроксимировались вертикальными круговыми конусами и цилиндрами, или набором однородно намагниченных прямоугольных параллелепипедов (Вакье, 1976; Деменицкая и др., 1978; Talwani, 1965). Решалась прямая задача и сравнивалась с наблюдаемым магнитным полем. В последующие годы строились модели состоящие из блоков с разной величиной и направлением вектора намагниченности (Keating, Sager, 1980; Kodama, Ueda, 1979); выполнялось совместное определение средней однородной и минимальной неоднородной намагниченности внутри вулканической постройки (Hildebrand, Parker, 1987; Parker, 1988; Parker et al., 1987); моделирование, основанное на решении обратной задачи по методу обобщенной линейной инверсии в комплексе с процедурой перепараметризации модели (Магнитное..., 1993) и восстановление намагниченности по площади (Бонатти и др., 1997). В последнее время появились новые пакеты 3D магнитного моделирования подводных вулканов (Бабанц и др., 2005; Блох и др., 2006; Blanco-Montenegro et al., 2008; Caratori Tontini et al., 2009; Cella et al., 2008; Koyama et al., 2008; Kubota, Uchiyama, 2005; Paoletti et al., 2008), позволяющие определять особенности внутреннего строения вулканических построек.

В Тихом океане выполнен большой объем гидромагнитных исследований подводных гор. Положение палеомагнитных полюсов для подводных гор Тихого океана представлено в работах (Городницкий, 1985; Francheteau et al., 1970; Ueda, Richards, 1966; Vacquier, Ueda, 1966). Изучению аномального магнитного поля подводных вулканов Идзу-Бонинской островной дуги посвящены работы (Honsa, Tamaki, 1985; Ueda, 2007; Yamazaki et al. 1991). В работе (Ueda, 2007) изучена намагниченность 55 и выполнено 3D магнитное моделирование 25 подводных гор. Палеомагнитные полюса и величина эффективной намагниченности для 53 подводных гор Филиппинского моря приведены в работе (Ueda, 2004), а магнитные характеристики для 84 подводных гор западной части Тихого океана представлены в работе (Ueda et al., 2008). В южной части Командорской котловины выполнены геомагнитные исследования действующего подводного вулкана Пийпа (Селиверстов, 1998; 2009). В пределах меловых Магеллановых гор геомагнитные исследования выполнены на гайотах Вулканолог, Коцебу, Альба, Паллада, Ита Майтаи, Грамберга, МЖ-

38, ОСМ-3 (Брусилковский и др., 1992а, 1992б; Брусилковский, Соколов, 1992; Tae-Gook et al., 2003; Жигулев и др., 1988; Рашидов 2006; Рашидов и др., 2003, 2009; Родников и др., 2007; Rodnikov et al., 2009).

Несколько активных подводных вулканов исследованы в Кермадек, Соломоной, Идзу-Бонинской и Марианской островных дугах (Горшков и др., 1980; Рашидов, 1996; 2001б, 2005; Рашидов, Гавриленко, 2002; Рашидов и др., Рашидов и др., 1981, 2002).

В пределах Курильской островной дуги изучено 109 подводных вулканов (Подводный..., 1992, Новейший..., 2005; Рашидов, 2009а, 2009б).

В результате 15-ти летних исследований (с 1977 по 1991 гг.) подводного вулканизма Тихого океана с борта НИС «Вулканолог» была разработана методика изучения современного подводного вулканизма, изучено большое количество подводных вулканов, выявлены определенные критерии обнаружения неизвестных вулканических объектов геофизическими и гидрохимическими методами исследований. Обнаружение новых подводных вулканических объектов происходило как при проведении планомерных площадных геолого-геофизических исследований и рекогносцировочных геофизических наблюдениях, так и при попутном эхолотном промере в вулканически активных районах Тихого океана. В рейсах НИС «Вулканолог» были изучены проявления подводной вулканической деятельности в Ново-Гвинейском и Южно-Китайском окраинных морях, Кермадек Соломоновой, Марианской, Идзу-Бонинской, Курильской островных дугах, южной части Командорской котловины, «горячей точки» Сокорро и меловые гайоты Магеллановых гор.

В комплекс вулканологических исследований входили эхолотный промер, непрерывное сейсмическое профилирование, гидромагнитная съемка и драгирование. Исследования проводились в два этапа. На первом на ходу судна выполнялись профильные или полигонные геофизические исследования, а на втором в выбранных точках отрабатывались станции геологического опробования. Полигонные геофизические исследования выполнялись при скорости судна от 1-2 до 7-11 узлов. Они проводились по сети профилей, выбранной с учетом задач стоящих перед комплексными вулканологическими исследованиями и наличия судового времени. Измерения проводились по ортогональной сети профилей, по сети профилей, пересекающихся под различными углами или по системе галсов «звезда». Сеть профилей постоянно наращивалась при проведении последующих работ на выбранных объектах. Драгирование проводилось на малых скоростях судна.

Использовалась **единая служба судового времени**, которая позволяла синхронизировать работу измерительной аппаратуры различных методов исследований и приводить результаты измерений к единым координатам времени и пространства. **Навигационная привязка** геофизических профилей и станций осуществлялась с помощью судовых радиолокаторов и спутниковой навигационной системы. Эхолотный промер проводился японскими эхолотами, глубоководным «WD-110М», имеющим широкий диапазон глубин, достигающий 12000 м, и рыбопоисковым JEW-820, имеющим диапазон глубин до 2000 м. **Непрерывное сейсмоакустическое профилирование** проводилось в одноканальном варианте в модификации центрального луча с применением электроискрового источника типа «Спаркер». Драгирование проводилось с помощью различных цилиндрических драг.

**Гидромагнитные измерения** абсолютного значения (модуля) полного вектора напряженности геомагнитного поля ( $\Delta T$ ) осуществлялись квантовым магнитометром КМ-2, разработки СКБ ФП АН СССР и протонным магнитометром ПМИВ, разработки Института вулканологии ДВО АН СССР, стендовая точность которых не хуже 1-2 нТл. В наблюдаемые значения магнитного поля вводилась поправка за девиацию, которая во время проведения вулканологических исследований не превышала 10-12 нТл. Косвенный учет вариаций осуществлялся путем проведения контрольных замеров на прямом и обратном курсах, а также путем анализа невязок в точках пересечения опорных и секущих маршрутов. Среднеквадратическая погрешность во время проведения ГМС на полигонах не превышала 7-10 нТл.

Разработанная комплексная методика оказалось весьма эффективной, и позволила успешно идентифицировать и изучать подводные вулканические постройки, в том числе и погребенные под осадками. С помощью этой методики удалось идентифицировать и изучить вулканические зоны Тху-Катуик, Ре-Бобай и южный участок проявления подводной вулканической деятельности в Южно-Китайском море. Выделить зону трещинных подводных излияний в Новогвинейском море. Открыть действующий подводный вулкан Вулканолог (Руссиан) в островной дуге Кермадек и ряд подводных вулканов и кальдер в Курильской ОД.

## **Глава 2. Геомагнитные исследования подводных вулканов Кермадек, Соломоновой, Марианской и Идзу-Бонинской ОД.**

По наличию, наряду с интенсивной магнитной аномалией, достигающей 3300 нТл, акустических помех, зафиксированных на записях эхолота при обследовании безымянной банки на восточном окончании хребта Кертис в **островной дуге Кермадек**, был обнаружен действующий подводный вулкан (Гавриленко, 1984, 1997; Рашидов, 1996, 2005), названный впоследствии новозеландскими коллегами **Вулканолог**. 2.5D магнитное моделирование показало, что постройка вулкана сложена породами дациандезитового состава и лишь сверху перекрыта маломощной коркой органогенного известняка. Объем извергнутого материала составляет  $\sim 8 \text{ км}^3$ .

В пределах **Соломоновой островной дуги** исследована **подводная вулканическая группа Ковачи** и установлено наличие подводного вулкана, расположенного к югу от о. Симбо, и отсутствие подводного вулкана **Кук** (Бондаренко, 1983; Ладыгин и др., 2005; Рашидов, Гавриленко, 2002; Рашидов и др., 2002;). Из четырех вулканических построек подводной группы Ковачи действующим является собственно вулкан Ковачи.

2.5D магнитное моделирование показало, что аномальное магнитное поле ( $\Delta T$ )а северо-западного, северного и северо-восточного подводных вулканов обусловлено аномалообразующими телами, расположенными в интервале глубин 1-2.2 км, а аномальное магнитное поле вулкана Ковачи - телами в интервале глубин 0.4-1.2 км. Эволюция вулканизма подводной вулканической группы Ковачи, протекала следующим образом. В начале произошли прорыв и дробление «вмещающих пород» и образовалась единая вулканическая постройка, а затем вулканическая деятельность происходила на СЗ фланге этой постройки, что привело к образованию там вулкана, недействующего в настоящий момент. СЗ вулканическая постройка, возможно, некоторое время возвышалась над поверхностью Соломонова моря, а затем претерпела опускание. На следующем этапе активизируются центральная часть и СВ фланг, и там образуются вулканические постройки, потенциально активные в настоящее время. Завершающая стадия началась в 1939 г. и связана с подводным вулканом Ковачи, который с этого момента извергался 30 раз (Рашидов и др., 2002).

При изучении активных подводных вулканов в пределах **Марианской островной дуги** выявлено, что **подводному вулкану Эсмеральда** соответствует дипольная аномалия магнитного поля ( $\Delta T$ )а ЮЗ простираения интенсивностью более 1000 нТл, а эффективная намагниченность постройки 5-8 А/м. Первые указания на то, что Эсмеральда является подводным вулканом были сделаны еще в первой половине XX в. (Тауата, 1936; Tanakadate, 1940). На вершине вулкана расположен четко выраженный, открытый в западном направлении кратер. На северо-восточном склоне обнаружены подводные фумаролы (Гавриленко 1997; Гавриленко и др., 1980; Горшков и др., 1980; Рашидов и др., 1981 Селиверстов, 1987; Gorshkov et al., 1982). Постройка вулкана сложена, преимущественно, порфиоровыми базальтами и андезибазальтами, а афировые андезибазальты, обладающие высокой остаточной намагниченностью, характерны лишь для последних извержений и создают локальные аномалии в прикратерной части. На вулкане драгированы ЖМО (Аникеева и др., 2008; Гавриленко, 1997; Дубинин и др., 2008). В геологической истории вулкана выделяются два основных этапа: эффузивный и эксплозивный. Общий объем излившихся лав - не менее  $300 \text{ км}^3$ , а пирокластического материала - не менее  $500 \text{ км}^3$ .

К привершинной части вулканической постройки **подводного вулкана Фукудзин** приурочен ряд интенсивных локальных дипольных аномалий магнитного поля субмеридионального простирания интенсивностью от 650 до 2100 нТл, которые, как показало 2.5D моделирование, обусловлены соммой. Внутри соммы вырос конус, имеющий основание размером 4×2 км и относительную высоту 400 м (Рашидов, 2001б). Фумарольная активность наблюдается и на северо-северо-западе привершинной части вулкана Фукудзин. На ранних этапах эруптивной деятельности подводного вулкана Фукудзин извержения были, в основном, эффузивными, а настоящее время преобладают эксплозивные извержения.

Интенсивная магнитная аномалия, превышающая 3000 нТл, отмеченная над вершиной **подводного вулкана Минами-Хиоси**, как показало 2.5D магнитное моделирование, создается телом, имеющим объем 0.17 км<sup>3</sup>, располагающимся в привершинной части постройки в интервале глубин 150-600 м и представляющим собой, скорее всего, лавовую пробку (Рашидов, 2001б). На вулкане на глубине 100-120 м выявлено поднятие с активными фумаролами.

Для четвертичной **подводной вулканической группы Софу** (Идзу-Бонинская островная дуга) характерны дипольные изометрические аномалии ( $\Delta T$ ) а субширотного простирания амплитудой 950-1050 нТл, тяготеющие к вулканическим постройкам. 3D магнитное моделирование показало, что вулканические постройки подводной вулканической группы образовались в момент западного экскурса геомагнитного поля, а их возраст не древнее 700 тысяч лет (рис. 2). На постройках подводной вулканической группы Софу развиты ЖМО (Аникеева и др., 2008; Дубинин и др., 2008). Глубоководная стадия развития подводной вулканической группы Софу характеризуется базальтовым вулканизмом, промежуточная - андезибазальтовым, а мелководная – эксплозивно-эффузивным андезидацитовым (Рашидов и др., 1981; Рашидов, Сапожников, 2001). Через скалу Софу проходит «тектоническая линия Софуган», разделяющая на северную и южную части островную дугу Бонин (Fujioka et al., 2002; Fujiwara et al., 2001; Yasa, 1965, 1992).

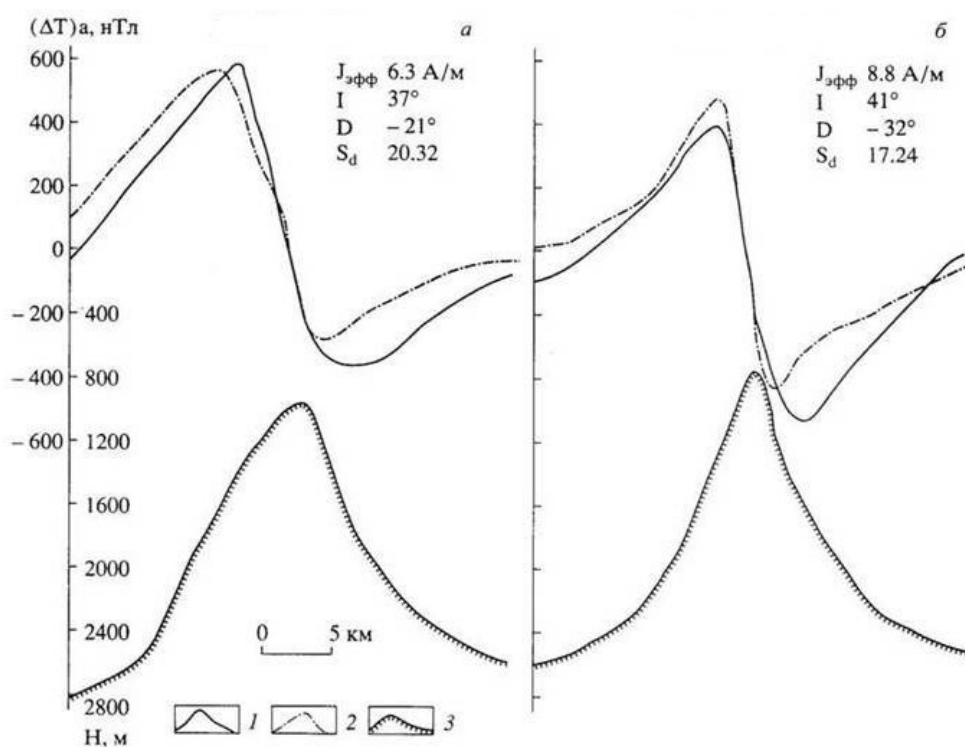


Рис. 2. 3D магнитное моделирование подводной вулканической группы Софу: а – западный конус, б – двухвершинная гора. 1, 2- графики магнитного поля соответственно аномального и модельного; 3- рельеф вулканической постройки.  $J_{эфф}$ . – эффективная намагнитченность;  $I$  – наклонение;  $D$  – склонение;  $S_d$  – среднеквадратичное отклонение.

### Глава 3. Геомагнитные исследования подводных вулканов Курильской ОД.

Несмотря на более чем полувековой период изучения подводного вулканизма КОД многие проблемы все еще остаются неопределенными. В пределах КОД выделено 8 вулканических зон (Подводный..., 1992), которые находят свое отражение в структуре аномального магнитного поля. Интенсивность аномалий, наблюдаемых над подводными вулканами КОД, изменяется от 70 до 1000 нТл. Большая часть вулканических построек намагничена по направлению современного магнитного поля. В пределах КОД широко развиты ЖМО (Аникеева и др., 2008; Гавриленко, 1997; Дубинин и др., 2008; Подводный..., 1992).

Выполненные 2.5D по методике П.П. Лойтера (Лойтер и др., 1986) и 3D моделирование с помощью пакета программ структурной интерпретации СИГМА-3D (Бабаянц и др., 2003а; 2003б; 2004; 2005) показали, что аномальное магнитное поле ( $\Delta T$ ) а плосковершинного **подводного вулкана Крылатка** обусловлено его современным рельефом. Вероятно, породы, слагающие центральную часть вулканической постройки в интервале глубин 180-700 м, подверглись значительным гидротермальным изменениям и, в результате чего, утратили свои магнитные свойства. Возможно, что этот слабо намагниченный блок представляет собой вершинную кальдеру, заполненную продуктами разрушения верхней части постройки и консолидированным галечником. При этом следует отметить достаточно хорошее совпадение результатов 2.5D и 3D моделирования, хотя в трехмерном случае модель становится более дифференцированной и отражающей тонкие детали внутреннего строения вулкана (Бабаянц и др., 2005; Рашидов, Бондаренко, 2004). В частности, на его склонах выделяются отдельные лавовые потоки (Бабаянц и др., 2005). Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох, 2009; Блох и др., 1993) позволило выявить склоны предполагаемой вершинной кальдеры (Блох и др., 2010). На северо-западном склоне в привершинной части постройки в интервале глубин 330-530 м подняты железомарганцевые корки гидротермального генезиса (Гавриленко, 1997; Подводный..., 1992; Glasby et al., 2006). На записях эхолотных промеров в рейсах НИС «Вулканолог» в 1983, 1987 и 1989 гг. (Рашидов, Бондаренко, 2004) в центре плоской вершины подводного вулкана Крылатка в интервале глубин 210-250 м отмечены акустические аномалии в водной толще, которые могут быть вызваны фумарольной деятельностью.

К подводному плосковершинному **вулкану Берга** приурочена аномалия магнитного поля ( $\Delta T$ ) а двух знаков с амплитудой, превышающей 1200 нТл, а вулкан намагничен по направлению современного магнитного поля (Блох и др., 2008). Выполненное 3D моделирование показало, что наиболее намагниченные лавовые потоки изливались в привершинной части западного склона вулканической постройки. Судя по величине эффективной намагниченности, превышающей 9 А/м, и результатам драгирования (Остапенко, 1978; Остапенко, Кичина, 1977) эти лавовые потоки сложены, скорее всего, базальтами и являются наиболее молодыми в пределах вулканической постройки. Излияние этих потоков происходило, вероятнее всего, не позднее, чем 70000 лет назад уже в подводных условиях. Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР показало, что помимо особенностей, приуроченных к верхней кромке, уверенно локализуется особенность на глубине более 2 км, смещенная к северо-востоку от эпицентра магнитной аномалии. По-видимому, это указывает на направление канала излияния базальтов (Блох и др., 2009). Относительная высота вулкана 1800 м, а с учетом перекрытого донными осадками основания – 2400 м. Площадь основания  $11 \times 15$  км, а объем вулканической постройки  $105 \text{ км}^3$ . Отмеченная минимальная глубина равна 480 м.

**Вулканический массив Черных Братьев**, располагающийся на пересечении Большой Курильской Гряды и Броутоновской поперечной вулканической зоны, прошел длительную и сложную историю развития (Бондаренко, Рашидов, 2003а). В его пределах по данным геофизических исследований выявлены две кальдеры: кальдера Горшкова и Внешняя кальдера Горшкова (Бондаренко, Рашидов, 2003а, 2003б). В эволюции массива

можно выделить пять этапов: древний докальдерный, древний кальдерный, межкальдерный, молодой кальдерный и современный посткальдерный. На заключительном этапе внутри кальдеры, в интервале середина позднего плейстоцена-ранний голоцен, возобновилась вулканическая деятельность, продолжающаяся до сих пор. Вблизи краев кальдеры на ее длинной оси сформировались вулканические постройки островов Чирпой и Брат Чирпоев, в пределах которых выделяют 13 вулканических построек, 3 из которых - действующие. Объем древней докальдерной постройки массива Черных Братьев, по-видимому, превышал  $500-550 \text{ км}^3$ . При образовании древней кальдеры объем извержений магмы мог превышать  $160 \text{ км}^3$ , что соответствует  $300-400 \text{ км}^3$  пирокластического материала. Объем межкальдерной вулканической постройки, с учетом части уничтоженной при образовании молодой кальдеры и вследствие абразии при выработке террасы, мог составлять  $90-100 \text{ км}^3$ . При образовании молодой кальдеры было выброшено не менее  $65 \text{ км}^3$  магмы, что эквивалентно  $130-180 \text{ км}^3$  пирокластического материала. Объем современных построек островов Черные Братья – порядка  $25 \text{ км}^3$ . Таким образом, суммарный объем изверженного в данном районе вулканического материала может превышать  $1000-1300 \text{ км}^3$ , из них кислые пирокластические продукты кальдерообразующих извержений –  $400-600 \text{ км}^3$ . Во время проведения работ в 29 рейсе НИС «Вулканолог» в пределах вулканического массива Черных Братьев на записях эхолота были обнаружены многочисленные акустические аномалии, которые, вероятнее всего, были вызваны действием подводной газогидротермальной активностью (Бондаренко, Рашидов, 2003б).

Островершинный **подводный вулкан Юбилейный** отчетливо проявляется в магнитном поле. К нему приурочена положительная аномалия ( $\Delta T$ )а интенсивностью 300 нТл, максимум которой несколько смещен к югу от вершины постройки. В результате 3D моделирования выявлено сложное строение привершинной части вулкана (Бабаянц и др., 2005, 2006; Блох и др., 2008; 2009). На СВ и ЮЗ вулкана выделено две вершины, расположенные, соответственно, на глубинах 420 и 700 м. На склонах вулкана в интервале глубин от 1100 до 2500 м находятся 7 побочных лавовых конусов. Вершины вулкана и побочные конусы характеризуются повышенными значениями намагниченности, что свидетельствует об однотипности слагающих их пород. Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох и др., 2010) показало, наличие на глубине  $\sim 3.5$  км возможного периферического очага. Вулкан имеет молодой, возможно голоценовый, возраст.

**Подводный вулкан к западу от острова Райкоке** имеет относительную высоту 900 м и размер основания по изобате 1200 м –  $7.5 \times 6$  км. Плоская привершинная часть вулкана, расположенная на глубинах 240-250 м. Крутизна склонов вулкана изменяется от  $16.7^\circ$  до  $24^\circ$ . Анализ АМП этого подводного вулкана показал, что оно обусловлено как составляющей, связанной с современным рельефом, так и глубинными корнями вулкана (Бондаренко и др., 2003; Брусиловский и др., 2004).

**Подводный вулканический массив Эдельштейна**, образован двумя слившимися близкорасположенными вулканическими постройками. Его северо-восточная и юго-западная постройки поднимаются, соответственно, до глубин 620 и 840 метров. На вулкане развиты ЖМО гидротермального генезиса (Аникеева и др., 2005). Интенсивность аномалий, приуроченных к северо-восточной и юго-западной постройкам, достигает максимальных значений, соответственно, 745 и 1060 нТл. Максимальный градиент магнитного поля, равный  $350 \text{ нТл/км}$ , приурочен к привершинной части северо-западного склона северо-восточной вулканической постройки. Выполненное 2.5D моделирование показало, что аномальное магнитное поле подводного вулканического массива Эдельштейна обусловлено, в основном, его современным рельефом (Рашидов, Бондаренко, 2003). Породы, слагающие вулканическую постройку, намагничены по направлению современного магнитного поля и довольно однородны по составу, что хорошо согласуется с данными геологического опробования (Подводный..., 1992; Рашидов, Бондаренко, 2003). Главный вклад в магнитное поле юго-западной постройки вулканического массива вносит основание вулкана, сформировавшееся на глубинном магмовыводящем разломе северо-

восточного простирания (Брусилковский и др., 2004). Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох и др., 2010) показало, что СВ постройка имеет юго-восточное направление подводящего канала, а ЮЗ постройка – юго-западное (рис. 3).

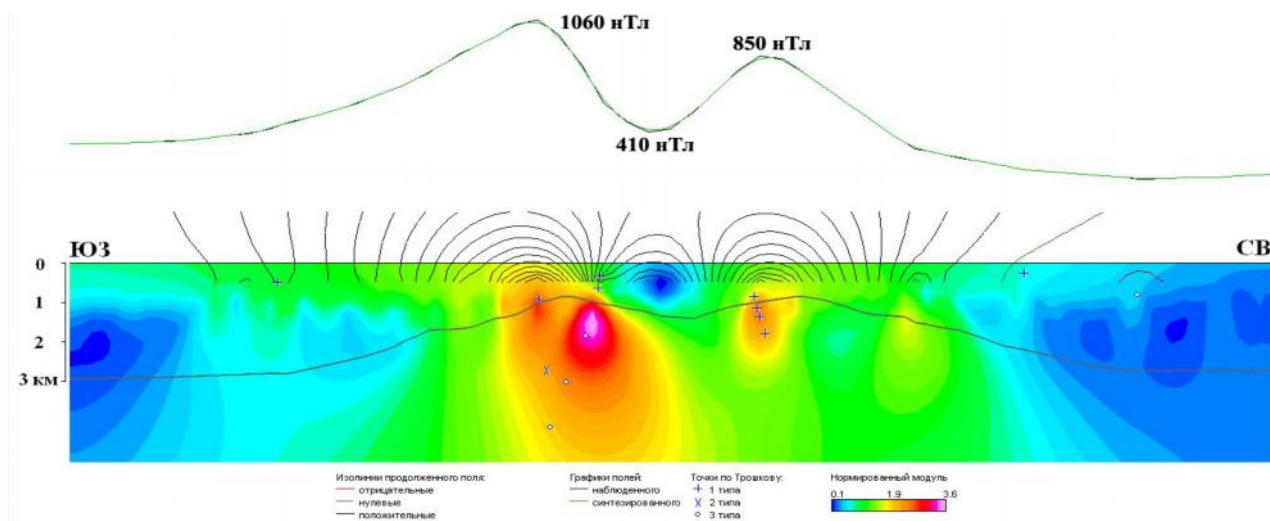


Рис. 3. Изображение, синтезированное системой СИНГУЛЯР для локализации особых точек функции, описывающей аномальное магнитное поле ( $\Delta T$ ) и подводного вулканического массива Эдельштейна, с наложенным рельефом дна по данным эхолотных промеров.

Плоская вершина **подводного вулкана Смирнова** расположена на глубине 950 м и перекрыта горизонтально-слоистыми осадками мощностью 100-150 м. Размер основания вулкана  $8 \times 11$  км, при площади  $\sim 70$  км<sup>2</sup>, а плоской вершины -  $2 \times 3$  км. Относительная высота вулканической постройки 850 м, а объем - около 20 км<sup>3</sup> (Подводный..., 1992; Рашидов, Бондаренко, 1998). К постройке приурочена аномалия магнитного поля с амплитудой 470 нТл. Из результатов 2.5D магнитного моделирования следует, что аномальное магнитное поле в районе вулкана обусловлено его постройкой, а не глубинными корнями. Несмотря на разнородность драгированного материала, подавляющая часть постройки довольно-таки однородна по составу и сложена высококальциевыми амфиболсодержащими андезитами (Рашидов, 2001; Рашидов, Бондаренко, 1998). Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох и др., 2010) показало наличие возможного периферического очага на глубине немногим более 2 км. Плоская вершина вулкана свидетельствует о том, что когда-то он поднимался до уровня моря, а затем испытывал довольно значительное опускание. Возраст его, по крайней мере, плиоценовый (Рашидов, Бондаренко, 1998).

Островершинный **подводный вулкан Белянкина** имеет форму изометричного конуса и поднимается над окружающим дном на высоту около 1100 м. Размер основания постройки  $9 \times 7$  км при площади  $\sim 50$  км<sup>2</sup>. Вершина вулкана расположена на глубине 508 м. Возвышающиеся над дном котловины склоны вулкана лишены осадочного чехла. Основание вулкана с налеганием перекрыто мощной толщей осадков. Объем вулканической постройки с учетом перекрытой осадками части  $\sim 35$  км<sup>3</sup>. Измерение магнитных свойств драгированных образцов показало, что они их остаточная намагниченность, изменяется в пределах 10-29 А/м, а отношение Кенигсбергера - в пределах 5.5-16.

К постройке приурочена аномалия магнитного поля с амплитудой 650 нТл, экстремум которой смещен к юго-востоку от вершины. Вулканическая постройка имеет прямую намагниченность. Из результатов 2.5D магнитного моделирования (рис. 4) следует, что аномальное магнитное поле в районе вулкана обусловлено, в основном, его постройкой, а породы, слагающие вулканическую постройку довольно однородны по составу, что хорошо согласуется с данными геологического опробования (Кичина, Остапенко, 1977; Подводный..., 1992). Основание вулкана, по-видимому, начало формироваться в плиоцене, а основная часть постройки сформировалась в плейстоцене (Рашидов, Бондаренко, 1998).

Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох и др., 2010) показало наличие возможного периферического очага на глубине 4 км.

Островершинный **подводный вулкан 1.4** был открыт в 1989 в 34-м рейсе НИС «Вулканолог» (Рашидов и др., 1992). Вулкан возвышается над окружающим дном Охотского моря на 650-700 м. Вершина горы осложнена рядом пиков, а основание почти

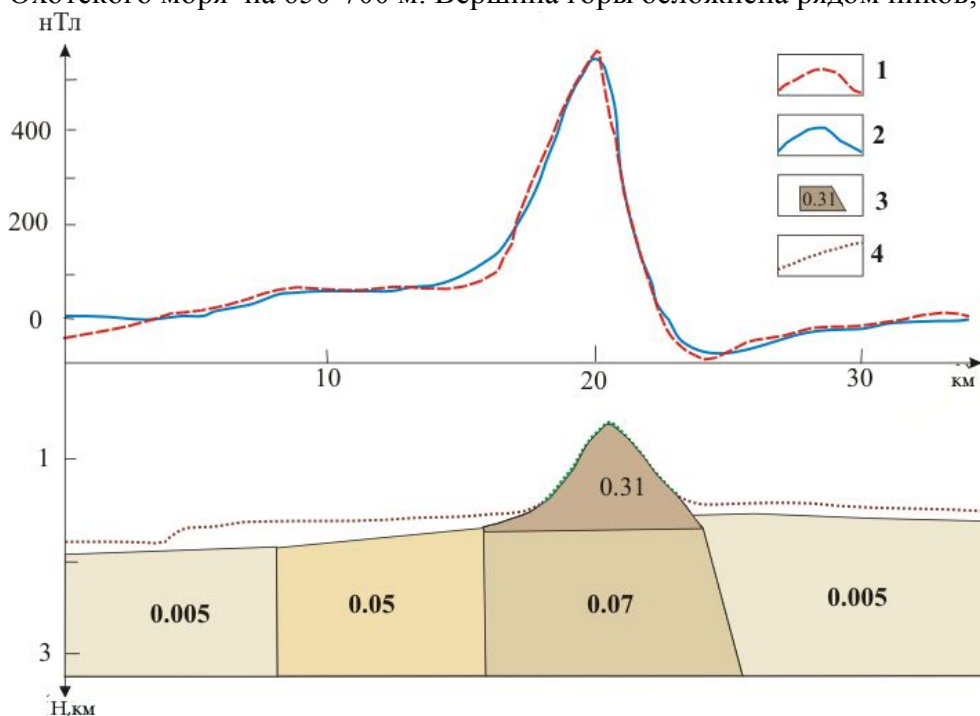


Рис. 4. 2.5D моделирование подводного вулкана Белянкина. 1, 2 – графики магнитного поля, соответственно аномального и модельного; 3 – аномалообразующие тела и значение эффективной намагниченности для них в А/м; 4 – поверхность дна.

замкнутым кольцом опоясывается отрицательной формой рельефа. На вулкане развиты ЖМО гидротермального генезиса (Аникеева и др., 2005). К вулканической постройке приурочена положительная аномалия магнитного поля интенсивностью до 400-500 нТл. Вблизи привершинной части постройки отмечен локальный максимум интенсивностью до 700 нТл. Расчеты, выполненные с помощью пакета СИГМА 3D, показали, что наибольшая эффективная намагниченность отмечена на СЗ склонах постройки, на глубинах 1100-1200, где расположен активный вулканический центр (Бабаянц и др., 2006; Блох и др., 2007). Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох и др., 2010) показало наличие подводящего канала, имеющего юго-западное простирание. Возраст образования вулкана находится в интервале 0.4 - 0.7 млн. лет (Бондаренко и др., 1994).

Данные детальных геофизических исследований в районе **погребенной подводной вулканической зона к западу от о. Парамушир** позволяют идентифицировать 4 подводных вулкана, которые отчетливо отражаются в магнитном поле наличием локальных аномалий интенсивностью 110-480 нТл. Выполненное 2D магнитное моделирование показало, что эффективная намагниченность вулканического массива 1.2 составляет 1.56 А/м, а экструзивного купола – 3.7 А/м (Авдейко и др., 1984; Бондаренко, Рашидов, 2006).

Изученная зона является активной, по крайней мере, с неогена и здесь отмечены Парамуширские гидроакустические аномалии. Активность зоны проявляется в значительных вертикальных и, возможно, горизонтальных движениях по разломам, вулканизме, гидротермальной деятельности. Продолжающаяся гидротермальная деятельность, по-видимому, приводит к разрушению в зоне разломов газогидратного слоя, имеющего широкое распространение в данном регионе, и таким образом стимулирует отмечающиеся здесь проявления грязевого вулканизма. В пределах зоны можно предполагать две вспышки магматической активности: более ранняя, неогеновая, когда возникли крупные

вулканический массив 1.2 и вулкан 1.7, и более поздняя, позднеплиоценовая или четвертичная, когда могли сформироваться небольшие вулканы 1.5 и 1.6.

**Вулканический массив Алаид** размером 23×30 км состоит из острова-вулкана Алаид (о. Атласова) и подводного вулкана Григорьева.

*Алаид*, самый высокий вулкан Курильских островов, имеет абсолютную высоту 2339 м и превышение над дном Охотского моря – 2850-3000 м. В XX веке произошли последние извержения вулкана Алаид: латеральные - в 1933-1934 гг. Такетоми и в 1972 г. прорыв Олимпийский, а также в 1981 г. - терминальное. На вулкане Алаид обнаружено 36 паразитических кратеров со шлаковыми конусами, расположенных как у основания вулкана, так и на его склонах и сконцентрированных в нескольких группах (Абдурахманов и др., 1981; Горшков, 1967). Подавляющее большинство конусов приурочено к линии северо-западного простириания.

*Подводный вулкан Григорьева* располагается на генеральной линии северо-западного направления местоположения побочных конусов вулкана Алаид и поднимается с глубин 800-850 м, где его основание срослось с основанием вулкана Алаид. Объем постройки ~ 40 км<sup>3</sup>. Вершина подводного вулкана Григорьева срезана абразией и снивелирована до уровня 120-140 м, что практически соответствует положению уровню моря в позднем плейстоцене. В западной и юго-западной частях вершины отмечены скальные выступы, поднимающиеся до глубин 50-55 м (Бабаянц и др., 2005; 2006; Блох и др., 2005, 2006а; Подводный..., 1992). Возможно, они являются отпрепарированным некком, а может быть, образовались после формирования вершины и представляют собою голоценовые экструзии или небольшие лавовые постройки. У основания и на склонах вулканической постройки отмечены отдельные экструзивные купола. На ЮЗ склоне вулкана на глубинах 750-230 м отмечена цепочка скальных выступов СВ простириания с относительной высотой 30-60 м и размерами в поперечнике – 400-650 м, которые, вероятно, также являются экструзивными или лавовыми куполами.

Остаточная намагниченность драгированных базальтов изменяется в диапазоне 1.47-28.45 А/м, магнитная восприимчивость – в диапазоне  $(2.39-94.83) \cdot 10^{-3}$  СИ, а отношение Кенигсбергера – в диапазоне 1.24-22. К подводному вулкану Григорьева приурочена интенсивная аномалия магнитного поля ( $\Delta T$ )а с амплитудой более 1400 нТл. Постройка намагничена по направлению современного магнитного поля. Результаты 3D моделирования (рис. 5) показали, что эффективная намагниченность отмеченных скальных выступов сопоставима с намагниченностью самой постройки подводного вулкана Григорьева (Бабаянц и др., 2005; 2006; Блох и др., 2005, 2006а; 2006б). Это, вероятнее всего, указывает на их лавовую природу, и отмеченные неоднородности рельефа действительно являются лавовыми куполами, развитыми вдоль радиальной трещины северо-восточного простириания параллельно простирианию Курильской островной дуги. Сравнивая значения эффективной намагниченности и результаты изучения магнитных свойств драгированных пород, можно, с большой долей вероятности, предположить, что вся постройка подводного вулкана Григорьева сложена однотипными высокоглиноземистыми базальтами, наиболее близкими породам старой постройки вулкана Алаид. Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР показало, наличие на глубине ~ 1-1.5 км возможных периферических очагов и субвертикальное направление подводящих каналов (Блох и др., 2010).

Наличие большого числа побочных лавовых куполов, является характерной особенностью вулкана Григорьева, отличающей его от большинства подводных вулканов Курильской островной дуги. Подводный вулкан Григорьева является самостоятельным вулканическим сооружением (Блох и др., 2005, 2006а), а не боковым конусом вулкана Алаид, как предполагалось ранее (Абдурахманов и др., 1981; Безруков и др., 1958; Горшков, 1967) и, возможно, является потенциально активным.

Обнаруженные в настоящее время многочисленные (тринадцать) экструзивные куполы подводного вулкана Григорьева указывают на связь механизмов его извержений и извержений острова-вулкана Алаид, где выделено 36 побочных шлаковых конусов. Нали-

чие такого значительного количества побочных конусов и куполов является характерным отличием вулканического массива Алаид от большинства остальных массивов и одиночных вулканов Курильской островной дуги.

Суммарный объем исследованных подводных вулканов КОД по минимальным оценкам составляет  $9151 \text{ км}^3$

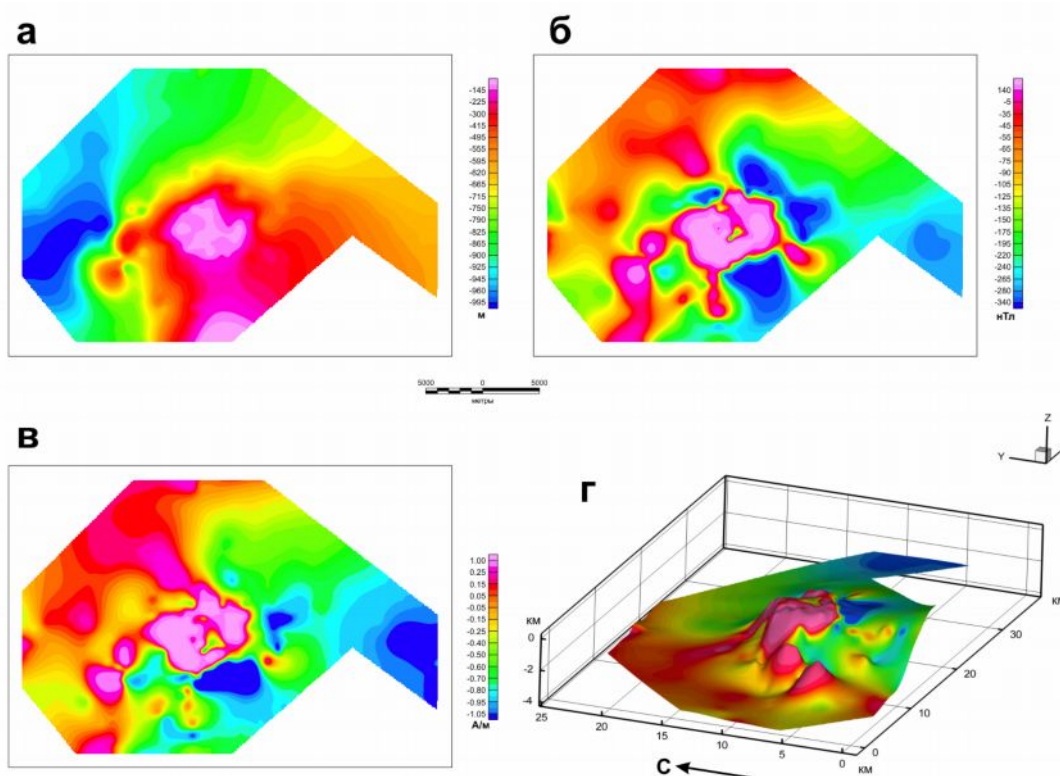


Рис. 5. 3D моделирование подводного вулкана Григорьева: *a* – батиметрия; *б* – аномальное магнитное поле ( $\Delta T$ ); *в* – распределение эффективной намагниченности вулкана; *г* – распределение эффективной намагниченности, изображенное на поверхности вулкана.

#### Глава 4. Геомагнитные исследования подводного вулканизма окраинных морей

В центральной части **Новогвинейского моря** выявлены подводные трещинные излияния базальтов, развитые в пределах рифтоподобной структуры. К этой структуре, раскрывающейся в восточном направлении и имеющей субширотное простираие, приурочена зона интенсивных магнитных аномалий, размах которых достигает 2000 нТл (Горшков, 1983; Горшков и др., 1983, 1984; Сузюмов, 1977; Connely, 1976). При драгировании были подняты свежие толеитовые и ферробазальты, представляющие собой части лавовых потоков мощностью 8-12 см, с четко выраженными стекловатыми коркой и подошвой. Эти лавовые потоки повсеместно развиты в пределах выявленной структуры (Селиверстов, 1987; Селиверстов, Бондаренко, 1983). Изучение магнитных свойств образцов показали, что они имеют высокую остаточную намагниченность, достигающую 127 А/м и, по-видимому, являются источником отмеченных интенсивных магнитных аномалий.

В результате 2D магнитного моделирования выявлены изолированные тела, имеющие как прямое, так и обратное намагничение. Поперечные размеры тел изменяются от 2 до 20 км, а мощности – от 150 м до 2 км. По форме своего залегания эти тела подобны горизонтальным пластам. Протяженность их по простираию не менее 70 км, что позволяет считать их базальтовыми покровами. По-видимому, в зоне растяжения последовательно образовывались магмовыводящие трещины, служившие источником, формирующим базальтовые покровы. Совокупность полученных данных позволяет выделить зону проявлений современного вулканизма в пределах широт  $2^{\circ}27'$  ю.ш.- $3^{\circ}06'$  ю.ш. (Горш-

ков, 1983; Горшков и др., 1984). Возраст этой зоны не древнее 0.7 млн. лет. Выделено три центра подводной вулканической активности (магмовыводящие трещины). Обратномагнитные базальтовые тела южного участка имеют возраст 0.7-2.4 млн. лет. Здесь также выделено три центра подводной вулканической активности. Базальтовые проявления на площади не менее 10000 км<sup>2</sup>. Объем излившихся лав составляет 3000 км<sup>3</sup>.

В период с 1977 по 1987 гг. выполнено семь экспедиций на НИС «Вулканолог» на акватории ~70000 км<sup>2</sup>, направленных на изучение позднекайнозойского вулканизма на шельфе **Южно-Китайского моря**. 4 рейса и геологические маршруты на островах и побережье Вьетнама были выполнены непосредственно в шельфовой зоне Вьетнама в рамках двухстороннего сотрудничества с Институтом Наук о Земле Национального Центра научных исследований Вьетнама. Проявления современного подводного вулканизма на шельфе Южно-Китайского моря относятся к ареальному типу. Отмеченный здесь вулканизм наблюдается в районе развития коры континентального (субконтинентального) типа и является континентальным вулканизмом, проявленным на шельфе окраинного моря. Для континентальной части Вьетнама и шельфовой зоны Южно-Китайского моря молодой вулканизм на ранних этапах носит площадной покровный характер, а для позднего этапа характерны многочисленные мелкие центры вулканической деятельности (ареальный вулканизм). Для ранних этапов характерны толеитовые и субщелочные базальты, а для позднего - щелочные оливиновые базальты (Гатинский, 1980; Колосков и др., 1987). Ранние этапы вулканизма связаны с разломами северо-западного и северо-восточного направлений, а поздний – с субмеридиональными разломами.

В результате работ установлено, что на шельфе Южно-Китайского моря пределах западной краевой части субмеридионального линеамента (108-110° в.д.) позднекайнозойский подводный вулканизм фрагментарно проявляется на расстоянии > 700 км. Продукты его деятельности распространены на площади ~ 3400 км<sup>2</sup>. Выявлены три участка позднекайнозойской подводной вулканической деятельности, на двух из которых вулканизм проявляется и на островах (Горшков, 1981; Горшков и др., 1991; Колосков и др., 1987, 2003а, 2003б; Надежный, 1986; Рашидов, 1997).

В пределах **подводной вулканической зоны в районе островов Тху-Каиуик** обнаружено несколько десятков современных вулканов, имеющих диаметры оснований от 0.5 до 3 км и высоту - от 40 до 200 м. Около 20 из них – погребенные. Этап ареального вулканизма начался здесь в конце плейстоцена. Вулканическая зона по данным ГМС имеет: протяженность в субмеридиональном направлении - 80-90 км при ширине 10-25 км. Площадь вулканической зоны составляет ~ 1600 км<sup>2</sup> (Рашидов, 1997). Над зоной отмечена область высокочастотных знакопеременных магнитных аномалий амплитудой от 50-500 нТл, резко контрастирующая с окружающим спокойным АМП. Источником таких аномалий, как показало изучение драгированных пород, могут быть только вулканогенные породы. Оси корреляции магнитных аномалий имеют преобладающее субмеридиональное, а также подчиненное СЗ простирание и пространственно совпадают с магмовыводящими разломами субмеридионального и СЗ простираний. По данным анализа спутниковой карты (Z) аномального магнитного поля и разломной тектоники на прилегающей к Вьетнаму части акватории Южно-Китайского моря наблюдается хорошее совпадение элементов простирания разломов и магнитных аномалий (Колосков и др., 2003а, 2003б). Из общего многообразия разломных форм можно выделить разломы субмеридионального, СЗ и СВ простираний. Т.о., корреляция между рельефом и магнитными аномалиями наблюдается как по данным гидромагнитной съемки, так и по данным спутниковых измерений. 2D магнитное моделирование позволило выделить в пределах зоны покровы базальтов, лавовые и шлаковые конусы, разноглубинные субвулканические тела. Отмечено двухъярусное строение верхней части разреза вулканической зоны. Объем базальтоидов и их интрузивных аналогов в верхней 500-метровой толще составляет ~ 20 км<sup>3</sup>.

В пределах **вулканической зоны в районе островов Ре-Бобай** отмечен вулканизм двух типов: ареальный (Колосков и др., 1987) и более древний - покровный. Выде-

ленные типы вулканизма имеют, соответственно, возраст  $Q_{2-4}$  (Колосков и др., 1987) и  $N_2-Q_1$ . Эта зона также четко оконтуривается по приуроченным к ней высокочастотным знакопеременным магнитным аномалиям (Колосков и др., 2003а, 2003б; Рашидов, 1997). Она протягивается от побережья Вьетнама мористее на расстояние 24 до 36 км и вытянута в субмеридиональном направлении на 60 км. Площадь зоны  $\sim 1650 \text{ км}^2$ . Наиболее благоприятными для магмовыделения являются субмеридиональные и СЗ направления разрывных нарушений.

**Южный участок проявления подводной вулканической** был обнаружен при проведении ГМС протонным магнитометром над банкой с отметкой «-34.5 м», расположенной на расстоянии около 85 км к югу от островов Катуик, исследуя которую ранее с помощью квантового магнитометра мы попали в его «мертвую зону» (Рашидов, 1997). Над этой банкой и в ее окрестностях были зафиксированы высокочастотные знакопеременные аномалии с амплитудой от 50 до 1800 нТл, что позволило высказать предположение об обнаружении нового участка проявления подводной ареальной вулканической деятельности на шельфе Южно-Китайского моря. Данные НСП и геологического опробования подтвердили это предположение (Горшков и др., 1991; Рашидов, 1997). Подводным вулкан имеет высоту  $\sim 100$  м и диаметром основания  $\sim 1$  км.

## **Глава 5. Систематизация материалов исследований и представление их в сети Интернет**

Для решения задач систематизации, хранения и визуализации полученных материалов, а также данных, полученных из литературных источников и сети Интернет, при поддержке Президиума ДВО РАН и РФФИ, в 2004 г. создан веб-сайт «Сравнительный анализ материалов геомагнитных исследований различных типов проявлений позднекайнозойского подводного вулканизма в Тихом океане»

Сайт ([http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant\\_04/index.html](http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04/index.html)) является в настоящее время единственной обобщающей работой по геомагнитным исследованиям позднекайнозойских подводных вулканов Тихого океана (Авдейко и др., 2005; Рашидов, и др., 2006, 2009, 2010).

На сайте в представлены результаты интерпретации геолого-геофизических исследований, выполненных в рейсах НИС «Вулканолог» при изучении позднекайнозойского вулканизма в различных районах Тихого океана. Сделаны ссылки на сетевые ресурсы, на которых представлены уникальные карты, модели, фотографии и видеofilьмы, сделанные отечественными и иностранными коллегами, а также на биографии выдающихся отечественных ученых, чьи имена названы подводные вулканы Курильской островной дуги. Приведены публикации авторов и литература по подводному вулканизму Тихого океана.

На виде таблиц представлены «Каталог позднекайнозойских подводных вулканов Тихого океана» ([http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant\\_04/catalogue.html](http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04/catalogue.html)), объемы подводных вулканических построек ([http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant\\_04/tables/volume.xls](http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04/tables/volume.xls)) и результаты изучения магнитных ([http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant\\_04/tables/magnit.xls](http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04/tables/magnit.xls)) и химических ([http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant\\_04/tables/chem.xls](http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04/tables/chem.xls)) свойств драгированных образцов. Описаны 312 подводных вулканов, для 124 из них даны объемы построек. Для 83 вулканов приведены сведения о химическом составе, а для 23 вулканов - магнитные свойства драгированных пород.

Оригинальные материалы, полученные в экспедициях НИС «Вулканолог» в Тихом океане, теперь стали доступны не только узкому специалистам, но и широкому кругу пользователей сети Интернет.

### **Заключение**

Оригинальный фактический материал, собранный при проведении исследований в 19 рейсах НИС «Вулканолог» существенно дополнил существующие представления о

подводном вулканизме Мирового океана и о строении зоны перехода от материков к Тихому океану.

Разработанная методика комплексного применения ГМС с данными эхолотного промера, НСП и драгирования оказалось весьма эффективной. С помощью этой методики исследованы вулканические зоны Тху-Катуик, Ре-Бобай и южный участок проявления подводной вулканической деятельности в Южно-Китайском море. Выделена зона трещинных подводных излияний в Новогвинейском море. Открыт действующий подводный вулкан Вулканолог (Руссиан) в островной дуге Кермадек. Установлено наличие подводного вулкана, расположенного к югу от о. Симбо, и отсутствие подводного вулкана Кук в Соломоновой ОД.

В Курильской ОД открыты новые подводные вулканы в пределах вулканического массива Эдельштейна, хребтов Броутона и Гидрографов и к западу от острова Парамушир. Выявлены подводные кальдеры в вулканическом массиве Черных Братьев и прослежена его эволюция. Сделаны предположения о возможной газогидротермальной активности на подводном вулкане Крылатка и в вулканическом массиве Черных Братьев.

С помощью современных технологий изучено внутренне строение подводных вулканов. В пределах вулканических построек выделены лавовые потоки, пробки, вершинные кальдеры, аномалообразующие тела. Определены масштабы и формы, а в некоторых случаях прослежена стадийность проявления подводной вулканической деятельности.

В пределах Соломоновой ОД показана эволюция подводной вулканической группы Ковачи. При исследовании Марианской ОД выявлено, что основным источником магнитной аномалии, зафиксированной над подводным вулканом Минами-Хиоси, является лавовая пробка, расположенная в верхней части вулканической постройки, а отмеченный ряд экстремумов аномального магнитного поля над подводным вулканом Фукудзин вызван соммой. Постройка подводного вулкана Эсмеральда сложена, преимущественно порфиоровыми базальтами и андезибазальтами, а афировые андезибазальты, обладающие высокой остаточной намагниченностью, характерны лишь для последних извержений и создают локальные аномалии в прикратерной части. Глубоководная стадия подводной вулканической группы Софу (Идзу-Бонинская островная дуга) характеризуется базальтовым вулканизмом, промежуточная - андезибазальтовым, а мелководная – эксплозивно-эффузивным дациандезитовым.

В Курильской ОД в пределах вулканических построек выявлены вершинные кальдеры, побочные лавовые конусы, экструзивные куполы, и отдельные лавовые потоки. Определено местоположение активных вулканических центров. В непосредственной близости от вулканов отмечены линейные зоны, сложенные породами с повышенной намагниченностью. Определены местоположение магматических камер и направление подводных каналов.

Отмечено хорошее совпадение результатов вычисления эффективной намагниченности с данными лабораторного изучения физических свойств драгированных образцов, что позволило идентифицировать выделенные лавовые потоки по составу слагающих их пород.

Для центральной части Новогвинейского моря характерны трещинные подводные излияния, формирующие горизонтально залегающие лавовые покровы без образования вулканических построек. Объем извергнутых лав здесь по минимальным оценкам составляет  $3000 \text{ км}^3$ , а площадь –  $10000 \text{ км}^2$ .

Установлено, что на шельфе Южно-Китайского окраинного моря в пределах западной краевой части субмеридионального линеамента ( $108-110^\circ$  в.д.) ареальный позднекайнозойский подводный вулканизм фрагментарно проявляется на расстоянии  $> 700 \text{ км}$ . Продукты его деятельности распространены на площади  $\sim 3400 \text{ км}^2$ . Выявлены небольшие вулканические постройки, размеры которых не превышают  $3 \text{ км}$  в диаметре и  $200 \text{ м}$  по высоте. Наблюдается выдержанность преобладающих направлений зон линейных магнитных аномалий и системы разломов, с которыми, скорее всего, связана вулканическая дея-

тельность. Отмечена хорошая корреляция данных гидромагнитной съемки и спутниковых магнитных измерений.

Для проявлений подводной вулканической деятельности в окраинных Новогвинейском и Южно-Китайском морях характерны трещинные излияния с образованием небольших вулканических построек. В пределах Кермадек, Соломоновой, Марианской, Идзу-Бонинской и Курильской островных дуг развиты изолированные вулканы, вулканические массивы и группы.

Созданы веб-сайт «Сравнительный анализ материалов геомагнитных исследований различных типов проявлений позднекайнозойского подводного вулканизма в Тихом океане» и «Каталог позднекайнозойских подводных вулканов Тихого океана», подсчитаны объемы подводных вулканических построек. Обобщены данные по изучению магнитных свойств драгированных пород и приведены данные по их химическому составу. Созданный сайт является в настоящее время единственной обобщающей работой по геомагнитным исследованиям подводных вулканов Тихого океана.

### **Список основных публикаций по теме диссертации**

Горшков А.П., Абрамов В.А., Сапожников Е.А., Селиверстов Н.И., Рашидов В.А. Геологическое строение подводного вулкана «Эсмеральда» // Вулканология и сейсмология. 1980. № 4. С. 65-78.

Горшков А.П., Иваненко А.Н., Рашидов В.А. Гидромагнитные исследования подводных вулканических зон в окраинных морях Тихого океана (на примере Новогвинейского и Южно-Китайского морей) // Тихоокеанская геология. 1984. № 1. С. 13-20.

Авдейко Г.П., Гавриленко Г.М., Черткова Л.В., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Гусева В.И., Мальцева В.И., Сазонов А.П. Подводная газогидротермальная активность на Северо-Западном склоне о. Парамушир (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1984. № 6. С. 66-81.

Горшков А.П., Иваненко А.Н., Рашидов В.А. Новые сведения об особенностях проявления подводной вулканической деятельности на шельфе Южно-Китайского моря по данным гидромагнитной съемки // Вулканология и сейсмология. 1991. № 4. С. 80-85.

Иседзаки Н., Годун Лю, Гуандин Лю, Рашидов В.А. Магнитные аномалии / Геотраверс Северо-Китайская равнина - Филиппинское море - Марианский желоб. Ответственные редакторы: А.Г.Родников (СССР), Н. Иседзаки, У. Сики (Япония), Лю Годун (Китай). М.: Наука, 1991. С. 89-92.

Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Г.П. Авдейко, А.Ю. Антонов, В.А. Рашидов и др. М.: Наука, 1992. 528 с.

Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Селиверстов Н.И., Шкира В.А. Подводный вулкан к западу от о-ва Парамушир // Вулканология и сейсмология. 1994. № 1. С. 13-18.

Рашидов В.А. Строение действующего подводного вулкана в островной дуге Кермадек по данным гидромагнитной съемки // Вулканология и сейсмология. 1996. № 4. С. 114-118.

Рашидов В.А. Возможности гидромагнитной съемки при поиске подводных вулканов (на примере позднекайнозойского вулканизма Южно-Китайского моря) // Вулканология и сейсмология. 1997. № 1. С. 17-31.

Рашидов В.А., Бондаренко В.И. Геофизические исследования подводных вулканов Белянкина и Смирнова (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 107-114.

Рашидов В.А., Сапожников Е.А. Геолого-геофизические исследования подводной вулканической группы Софу (Идзу-Бонинская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2001. № 4. С. 39-47.

Рашидов В.А. Геомагнитные исследования подводных вулканов Минами-Хиоси и Фукудзин (Марианская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2001б. № 5. С. 55-64.

Рашидов В.А., Гавриленко Г.М. Проверка сообщений о проявлениях подводной вулканической деятельности в пределах Соломоновой островной дуги // Вулканология и сейсмология. 2002. № 1. С. 22-28.

Рашидов В.А., Округин В.М., Ладыгин В.М., Округина А.М. Подводная вулканическая группа Ковачи (Соломонова островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2002. № 5. С. 11-24.

Рашидов В.А., Бондаренко В.И. Подводный вулканический массив Эдельштейна (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 3-13.

Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Вулканический массив Черных Братьев (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 3. С. 35-51.

Бондаренко В.И., Рашидов В.А. О возможной подводной вулканической активности в районе островов Черные Братья (Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 2. С. 80 - 88.

Брусилковский Ю.В., Иваненко А.Н., Рашидов В.А. Анализ магнитного поля трех позднекайнозойских подводных вулканов в северной части Курильской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 2004. № 2. С. 73-83.

Рашидов В.А., Бондаренко В.И. Геофизические исследования подводного вулкана Крылатка (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 65-76.

Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. 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.

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.

Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Погребенная подводная вулканическая зона к западу от о. Парамушир (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. 8. С. 69-85.

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.

Дубинин А.В., Успенская Т.Ю., Гавриленко Г.М., Рашидов В.А. Геохимия и проблемы генезиса железомарганцевых образований островных дуг западной части Тихого океана // Геохимия. 2008. № 10. С. 1280-1303.

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.

Рашидов В.А., Долгаль А.С., Новикова П.Н. Геомагнитные исследования гайотов Вулканолог и Коцебу (Магелановы горы, Тихий океан) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 1 (Вып. № 13). С. 98-106.

Рашидов В.А. Изучение подводных вулканов Курильской островной дуги // История наук о Земле. Сборник статей. Вып. 3. М: ИИЕТ РАН, 2009. С. 33-42.

Рашидов В.А., Романова И.М., Бондаренко В.И., Палуева А.А. Информационные технологии в геомагнитных исследованиях позднекайнозойских подводных вулканов Тихого океана // Российский журнал наук о Земле. 2010. Т. 11. № 3. RE3001, doi:10.2205/2009ES000358.

Рашидов Владимир Александрович  
Геомагнитные **характеристики** позднекайнозойских подводных вулканов западной части  
Тихого океана  
Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Подписано в печать 2010 г.  
Усл. печ. л. 1. Тираж 100.  
Отпечатано в