

ИНТЕРПРЕТАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

Блох Ю.И.¹, Бондаренко В.И.², Долгаль А.С.³, Новикова П.Н.³, Рашидов В.А.⁴, Трусов А.А.⁵

¹г.Москва, yuri_blokh@mail.ru

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

³Горный институт УрО РАН, г.Пермь

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

⁵ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика», г.Москва

Введение

Курильская островная дуга (КОД), Охотоморский склон которой осложнен подводными вулканами – важный элемент зоны перехода от Азиатского материка к Тихому океану. Плановое изучение подводного вулканизма КОД осуществлялось в 11-ти рейсах научно-исследовательского судна «Вулканолог» с 1981 по 1991 гг. [12]. В комплекс проведенных исследований входили эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), модульная гидромагнитная съемка (ГМС) и геологическое опробование. Полигонные геофизические исследования выполнялись по различным системам профилей, а сети наращивались при последующих работах на объектах, но зачастую сети съемочных профилей оказывались нерегулярными, а их плотность – невысокой. При проведении геофизической съемки по нерегулярным сетям образуются лакуны. Часто материалы таких съемок для построения карт и интерпретации полученных данных предварительно редуцируют на регулярную сеть точек, что, строго говоря, является некорректной процедурой. Для исключения отмеченного недостатка была разработана специальная интерпретационная технология моделирования.

Интерпретационная технология моделирования

Оригинальная интерпретационная технология моделирования данных ГМС, выполненная на весьма нерегулярной сети наблюдений в комплексе с эхолотным промером, НСП, анализом естественной остаточной намагниченности и химического состава драгированных горных пород [2-5], успешно применяется авторским коллективом для изучения подводных вулканов Курильской островной дуги (рис.1). Эта технология позволяет проводить интерпретацию непосредственно по исходным данным, не прибегая к некорректной процедуре их предварительного восстановления в узлах регулярной сети [3-7].

Для нерегулярной сети наблюдений погрешности интерполяции при восстановлении данных ГМС в узлах регулярной сети могут на порядок превышать погрешности самой съемки, поэтому выполнение такого преобразования поля является совершенно недопустимым. Применение даже самых совершенных алгоритмов для моделирования интерполированных и тем самым заведомо искаженных данных, в силу неустойчивости решения обратных задач чревато самыми непредсказуемыми ошибками. Разработанная же интерпретационная технология принципиально избегает любых операций с интерполированными значениями поля и выполняется с учетом фактического пространственного расположения точек ГМС. При этом применяются разнообразные методы, одни из которых ориентированы на 2D и 2.5D-анализ магнитного поля на отдельных галсах, а другие на 3D-анализ по всему массиву наблюдений.

Проведение в комплексе с ГМС эхолотного промера и НСП дает возможность при моделировании магнитных полей подводных вулканов использовать истинный рельеф вулканических построек с учетом погребенного под современными осадками основания. Этот аспект моделирования применяется на всех его этапах, как и результаты изучения магнитных свойств драгированных образцов и их химического состава.

Магнитное моделирование начинается с локализации на отдельных галсах особых точек функций, описывающих аномальные поля, для чего применяется интегрированная система СИНГУЛЯР, которая предоставляет возможность синтезировать результаты анализа тремя независимыми методами [8,9], и предварительного 2.5D моделирования (рис.2,3).

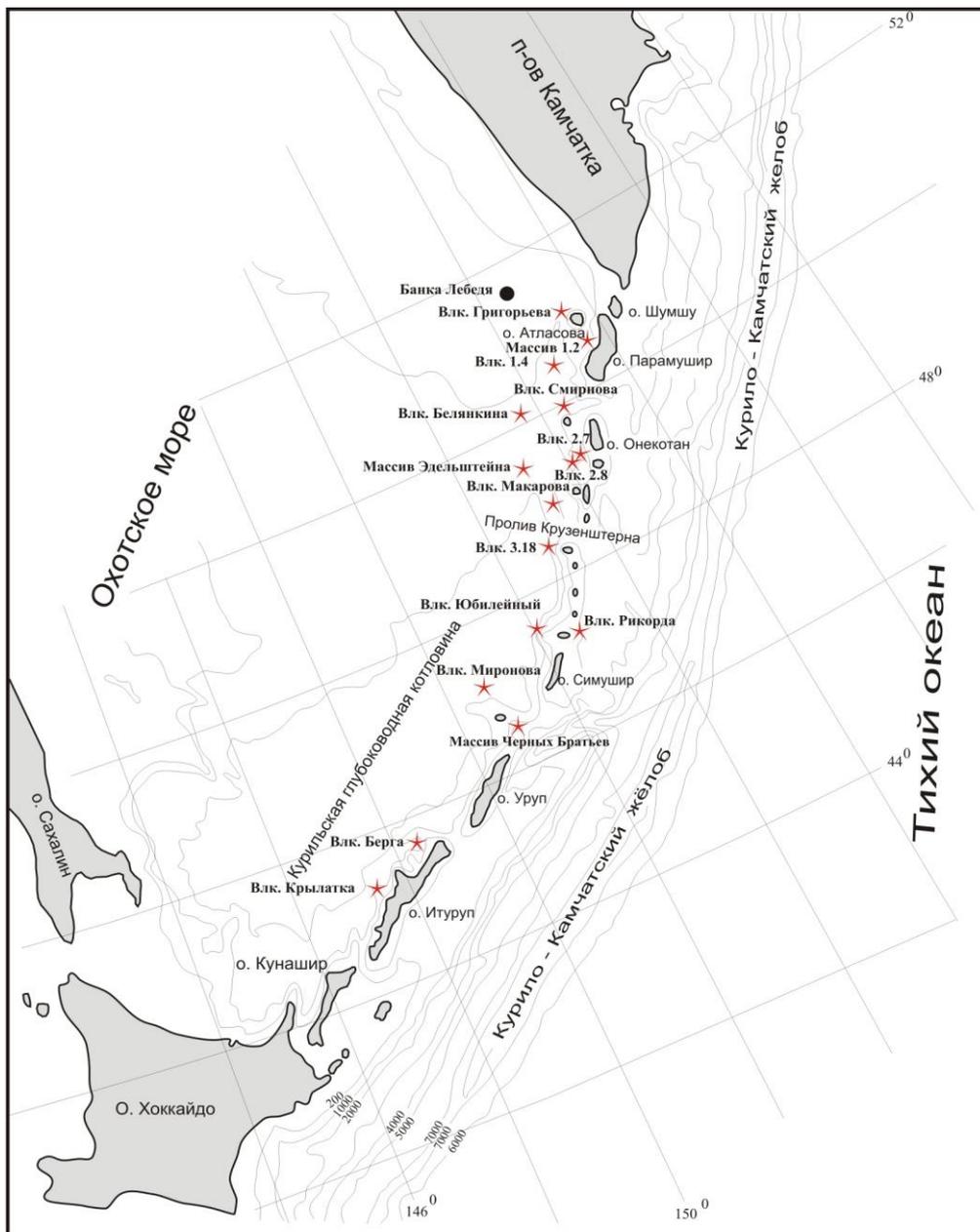


Рис.1. Местоположение изученных подводных вулканических структур

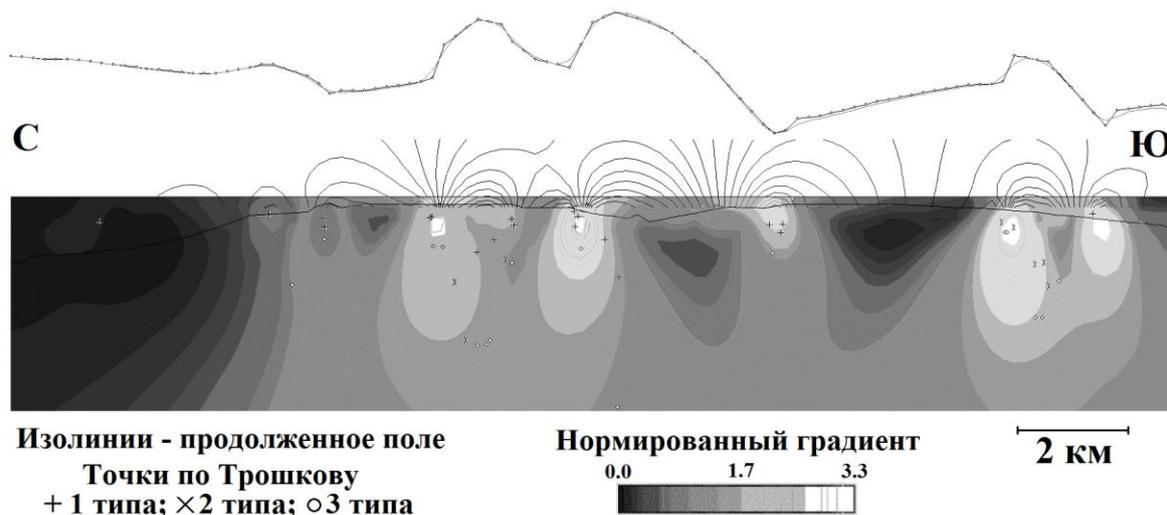


Рис.2. Анализ особых точек функции, описывающей аномальное геомагнитное поле подводного вулкана Рикорда. Местоположение вулкана указано на рис.1.

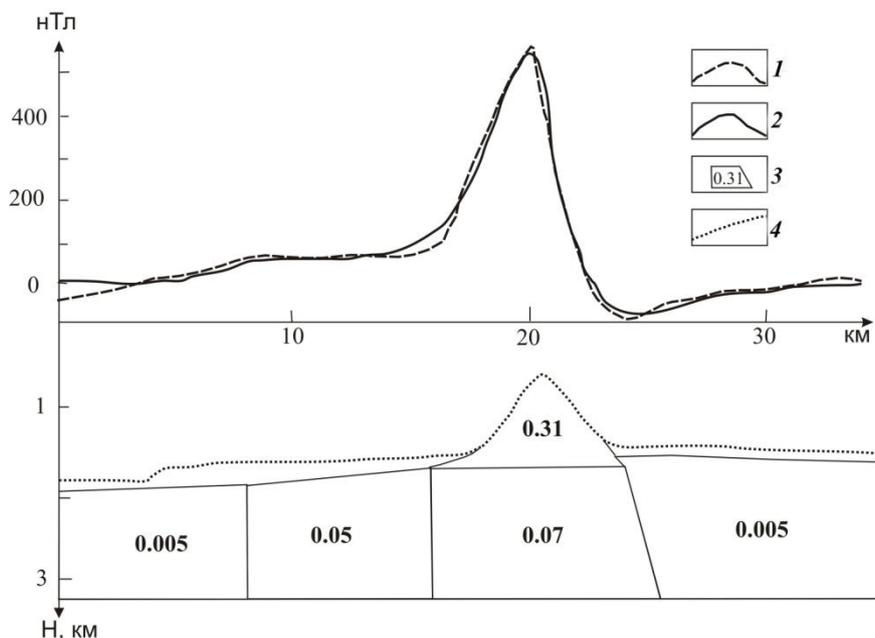


Рис.3. 2.5D моделирование подводного вулкана Белянкина: 1 – график аномального магнитного поля ΔT_a ; 2 – график модельного магнитного поля; 3 – аномалиеобразующие тела и значения эффективной намагниченности для них в А/м; 4 – рельеф дна. Местоположение вулкана указано на рис. 1.

На втором этапе определяют усредненное направление вектора суммарной намагниченности вулканической постройки. Для этого в интерактивно задаваемом интерпретационном окне находят компоненты ее магнитного момента с помощью программы ИГЛА [10], предназначенной для экспресс-интерпретации локальных аномалий гравитационного и магнитного полей (рис.4).

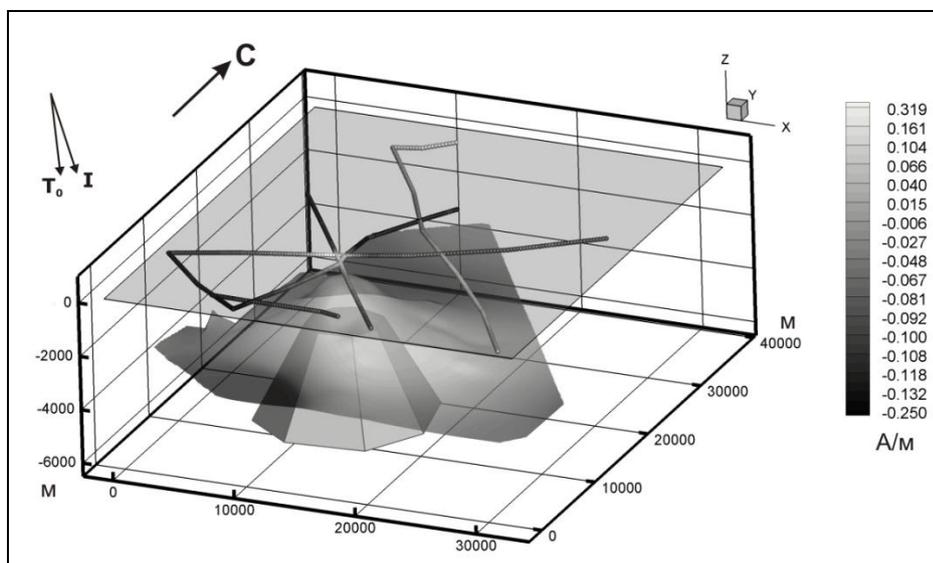


Рис.4. Уточнение ориентации вектора намагниченности подводного вулкана Миронова с помощью программы ИГЛА. Местоположение вулкана указано на рис. 1.

Далее выполняется 3D-моделирование вулканической постройки с помощью программы REIST из пакета СИГМА-3D [2] (рис.5). С ее помощью по всему массиву исходных данных проводится аппроксимация источников магнитного поля на базе модели субгоризонтального слоя с латерально изменяющейся по модулю намагниченностью. Верхняя кромка слоя задается по данным эхолотного промера и НСП, а нижняя, как правило, принимается горизонтальной и ее глубина задается исходя из анализа особых точек, предварительного 2.5D моделирования и расчетов с программой ИГЛА. Поскольку геометрия аппроксимирующего слоя известна заранее, как и направление вектора намагниченности пород, определение изменения модуля намагниченности по

латерали по отношению к некоторой точке, обычно задаваемой в центре интерпретационного участка, осуществляется единственным образом [1].

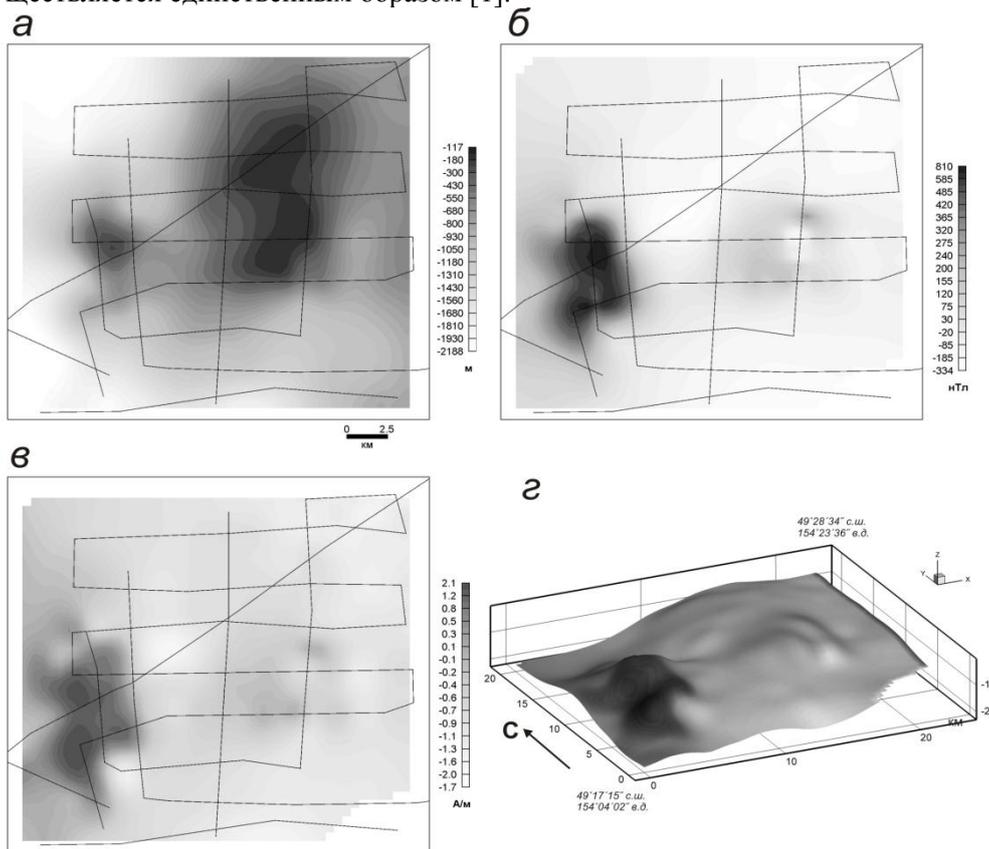


Рис.5. 3D магнитное моделирование подводных вулканов 2.7 и 2.8: *а* – батиметрия; *б* – аномальное магнитное поле ΔT_a ; *в* – распределение эффективной намагненности вулкана; *г* – распределение эффективной намагненности, изображенное на поверхности вулкана. Местоположение вулканов указано на рис. 1.

На заключительном этапе для изучения глубинного строения вулканических построек применяются интерпретационная томография аномального магнитного поля и монтажный метод решения обратной задачи магниторазведки (ОЗМ) [3-7,11] (рис.6а), что позволяет приближенно оценить распределение намагненности в геологической среде и в первом приближении дифференцировать различные блоки в вулканической постройке. Результаты интерпретационной томографии служат априорной информацией при решении ОЗМ монтажным методом. Моделирование проводится в 2D варианте с учетом линейного регионального фона в измеренных значениях поля, по каждому из галсов. При этом получается серия эквивалентных решений ОЗМ, соответствующих определенному интервалу допустимых значений невязки наблюдаемого и модельного магнитных полей. Наиболее реалистичный вариант визуализируется в виде интерполяционной 3D-модели магнитовозмущающих тел, отражающих объемную конфигурацию и положение застывшей магматической системы (рис.6б).

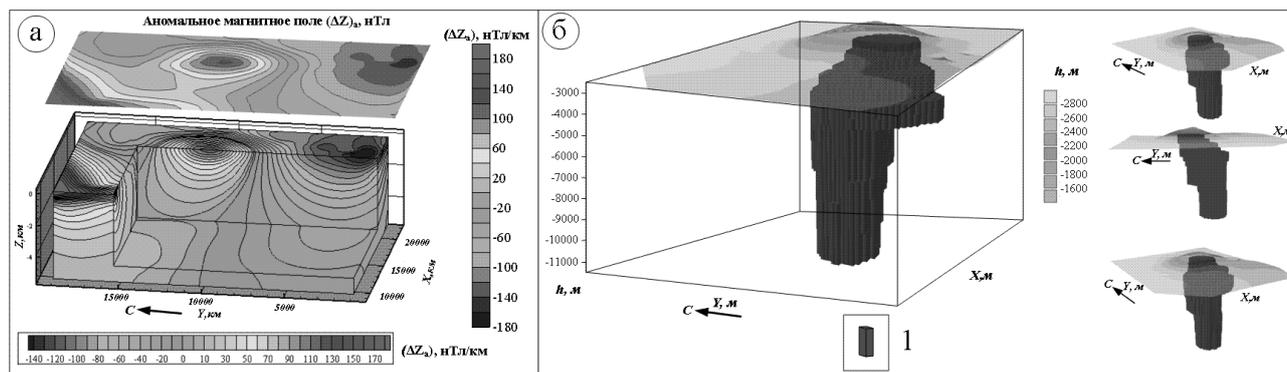


Рис.6. Результаты интерпретационной томографии (а) и 3D-модель источника магнитного поля (б) подводного вулкана Макарова. 1- элемент замощения.

Заключение

Моделирование магнитных полей с помощью разработанной интерпретационной технологии оказалось весьма эффективным при изучении подводных вулканов КОД [2-6].

С его помощью в пределах подводных вулканических построек выявлены вершинные кальдеры, побочные лавовые конусы, экструзивные купола и периферические магматические очаги. Выделены отдельные лавовые потоки и определено положение подводящих каналов. Определены местоположения активных вулканических центров и оконтурены магнитовозмущающие объекты, которые отождествляются с застывшими питающими системами вулканов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 12-05-00156-а, 12-05-31138-мол_а).

Список литературы

1. Блох Ю. И. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. Учебное пособие. М., 2009. <http://sigma3d.com/content/view/24/2/>.
2. 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.
3. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Комплексные геофизические исследования подводного вулкана б.1, Курильская островная дуга // Геофизика. 2012. № 2. С. 58-66.
4. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Современные интерпретационные технологии при комплексном моделировании подводного вулкана Макарова (Курильская островная дуга) // Геоинформатика. 2012. № 4. С. 8-17.
5. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Строение подводных вулканов 2.7–2.8 (Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 40-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 28 января – 1 февраля 2013 г. М.: ИФЗ РАН, 2013. С. 49-52.
6. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Геофизические исследования вулканического массива Рикорда (Курильская островная дуга) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Традиционная региональная научная конференция, посвященная Дню вулканолога 28 – 29 марта 2013 г. Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 51.
7. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Комплексное моделирование подводных вулканов 2.7 и 2.8 (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. Вып. 21. С. 77-85.
8. 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. Д.Г. Успенского, Москва, 25 - 29 января 2010 г. М.: ИФЗ РАН, 2010. С. 62-65.
9. 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.
10. 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.
11. Долгаль А.С. Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемок в горной местности. Абакан: ООО «Фирма-МАРТ», 2002. 188 с.
12. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Отв. ред. Пушаровский Ю.М. М.: Наука, 1992. 528 с.