

## МАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ ОХОТОМОРСКОГО СКЛОНА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

*Блох Ю.И.<sup>1</sup>, Бондаренко В.И.<sup>2</sup>, Рашидов В.А.<sup>3</sup>, Трусов А.А.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Российский государственный геологоразведочный университет им. Орджоникидзе,  
г. Москва, yuri\_blokh@mail.ru*

<sup>2</sup>*Костромской государственный университет им. Н.А. Некрасова, г. Кострома, vibond@list.ru*

<sup>3</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский,  
rashidva@kscnet.ru*

<sup>4</sup>*ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика, г. Москва, trusov@aerogeo.ru*

### **Введение**

Курильская островная дуга (КОД) является важным структурным элементом зоны перехода от Азиатского материка к Тихому океану. Здесь происходят интенсивные геологические процессы, недавним внешним проявлением которых в июне 2009 г. стало извержением вулкана Пик Сарычева на острове Матуа. Это извержение активизировало интерес, как исследователей, так и различных административных структур к изучению наземных вулканов КОД.

К огромному сожалению, в последние годы изучению подводного вулканизма КОД в нашей стране не уделяется должного внимания, что в любой момент может негативно сказаться на экологии и экономике Сахалинской области и Камчатского края. Поэтому большое значение, в настоящий момент, приобретает интерпретация с помощью современных технологий кондиционных данных, полученных в этом регионе в предыдущие годы при проведении морских комплексных геолого-геофизических исследований.

Подводные вулканы, расположенные на Охотоморском склоне КОД, были планомерно изучены в 1981-1991 гг. в 11 экспедициях с борта специализированного НИС «Вулканолог», которое в настоящий момент предназначено для утилизации.

Комплекс исследований включал эхолотный промер, непрерывное одноканальное сейсмоакустическое профилирование в модификации метода центрального луча с применением электроискрового источника (НСП), модульную гидромагнитную съемку (ГМС), драгирование и газогидрохимические измерения. Для большей части Курильской островной дуги эхолотный промер и геофизическая съемка были выполнены по системе пересекающихся галсов со средним межпрофильным расстоянием 5 км, со сгущением на отдельных участках до 0.5-1 км. Общая длина обработанных профилей составила приблизительно 60000 погонных км.

### **Результаты исследований**

В пионерских работах по изучению аномального магнитного поля подводных вулканов КОД предпринимались попытки определить положение палеомагнитных полюсов во время извержений [18], а также с помощью метода особых точек, разработанного Г.А. Трошковым и А.А. Грозновой, оценить глубины верхних кромок намагниченных тел [12].

В дальнейшем, для интерпретации результатов гидромагнитных исследований подводных вулканов КОД, выполненных с борта НИС «Вулканолог», применялось 2D и 2.5D моделирование [1,2, 13-17]. В качестве априорной информации использовались материалы эхолотного промера, НСП данные геологического опробования и лабораторных исследований магнитных свойств драгированных пород.

В результате проведенных работ было сделано заключение о том, что аномальное магнитное поле подводных вулканов Белянкина (рис. 1) и Смирнова а также вулканического массива Эдельштейна обусловлено, в основном, его постройкой. Роль же «глубинных корней» вулканов весьма незначительна [15, 16]. Исходя из рассчитанных величин эффективной намагниченности, данных геологического опробования и результатов измерения физических свойств драгированных образцов, были сделаны предположения о том, что вулканические постройки сложены, преимущественно, породами андезибазальтового ряда [1,2, 13-17].

При моделировании подводного вулкана Крылатка была выявлена вершинная кальдера, заполненная продуктами разрушения верхней части постройки и консолидированным галечником [17].

В настоящее время авторским коллективом активно развивается 3D геомагнитное моделирование с применением современного пакета программ структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D [3-10].

С помощью программ пакета СИГМА-3D в пределах КОД изучены островершинные подводные вулканы 1.4 и Юбилейный, плосковершинные подводные вулканы Григорьева, Берга и Крылатка, а также выполнена обработка данных площадной ГМС на полигоне, простирающемся от вулканического массива Алаид до банки Лебеда. При этом среднеквадратическая погрешность подбора в процессе 3D моделирования изменялась в пределах 10-58 нТл.

Сопоставление результатов 2.5D и 3D геомагнитного моделирования, выполненных для подводного вулкана Крылатка [3, 17] показало достаточно хорошее их совпадение. Трехмерная модель оказалась более дифференцированной и отражающей тонкие детали внутреннего строения вулканической постройки, что позволило выделить отдельные лавовые потоки.

При моделировании в пределах постройки подводного вулкана Григорьева (рис. 2) были идентифицированы лавовые купола, развитые вдоль радиальной трещины северо-восточного простирания параллельно простиранию КОД [3-5], а на северо-западном склоне подводного вулкана 1.4 на глубинах 1100-1200 обнаружен активный вулканический центр [8].

В привершинной части вулкана Юбилейного отмечены две вершины – северо-восточная и юго-западная, 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 [3].

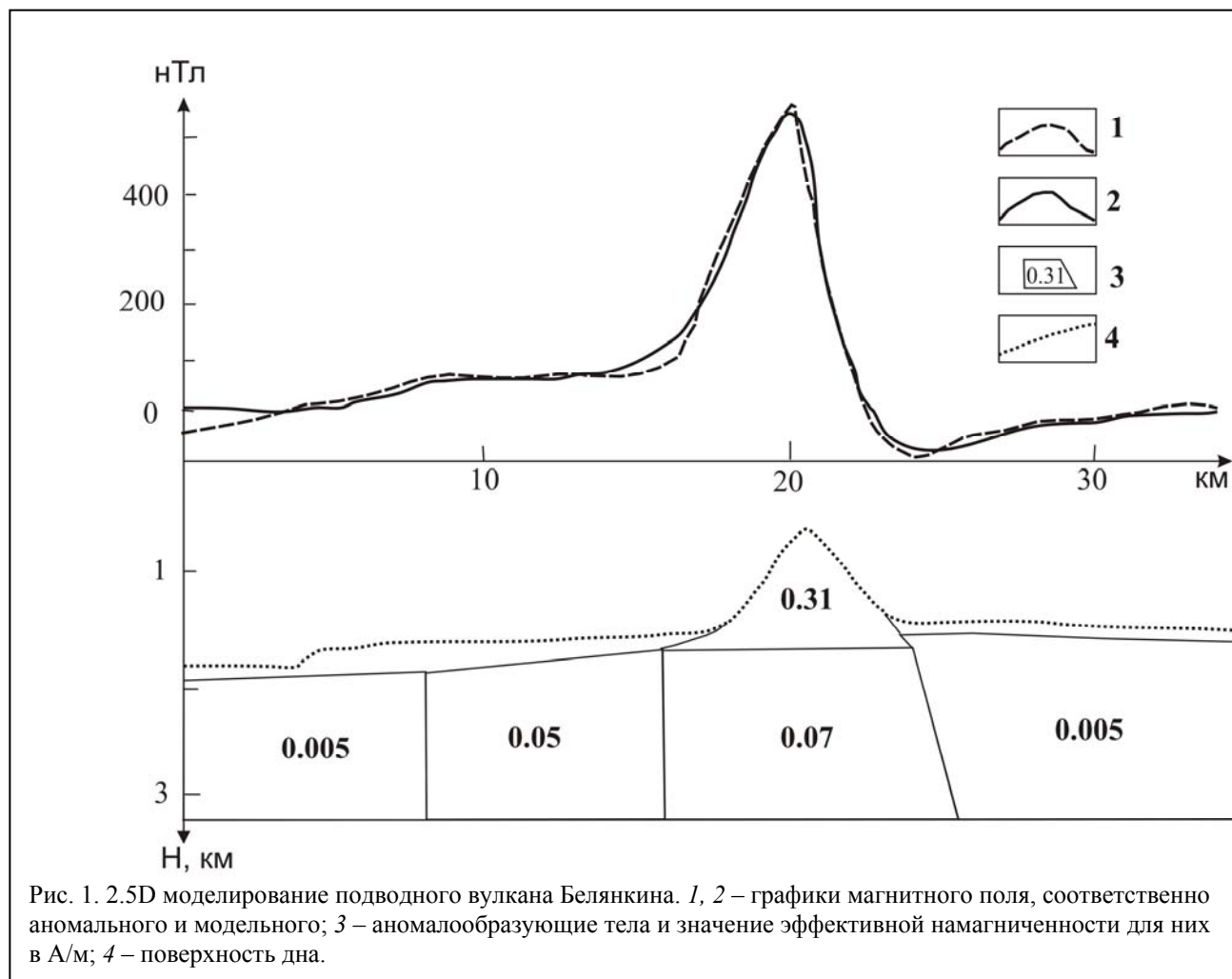


Рис. 1. 2.5D моделирование подводного вулкана Белянкина. 1, 2 – графики магнитного поля, соответственно аномального и модельного; 3 – аномалообразующие тела и значение эффективной намагниченности для них в А/м; 4 – поверхность дна.

В результате 3D моделирования на склонах подводного вулкана Берга выделены лавовые потоки. Наиболее намагниченные лавовые потоки изливались в привершинной части западного склона вулканической постройки [9, 10]. Судя по величине эффективной намагниченности, превышающей 9 А/м, и результатам драгирования эти лавовые потоки сложены, скорее всего,

базальтами и являются наиболее молодыми в пределах вулканической постройки. Излияние этих потоков происходило, вероятнее всего, уже в подводных условиях. Выделенные лавовые потоки оказались наиболее намагниченными среди изученных подводных вулканов КОД.

Интерпретация материалов ГМС, полученных при проведении исследований на полигоне, простирающемся от вулканического массива Алаид до банки Лебеда, показала, что подводный вулкан Григорьева расположен в непосредственной близости к линейной зоне, сложенной породами с повышенной намагниченностью, возникшей, может быть, почти одновременно с образованием вулканической постройки [8]. На одновременность, в частности, может указывать то, что лавовый поток на склоне вулкана, обращенном к этой зоне, характеризуется практически теми же величинами намагниченности, которые присущи породам, слагающим линейную зону.

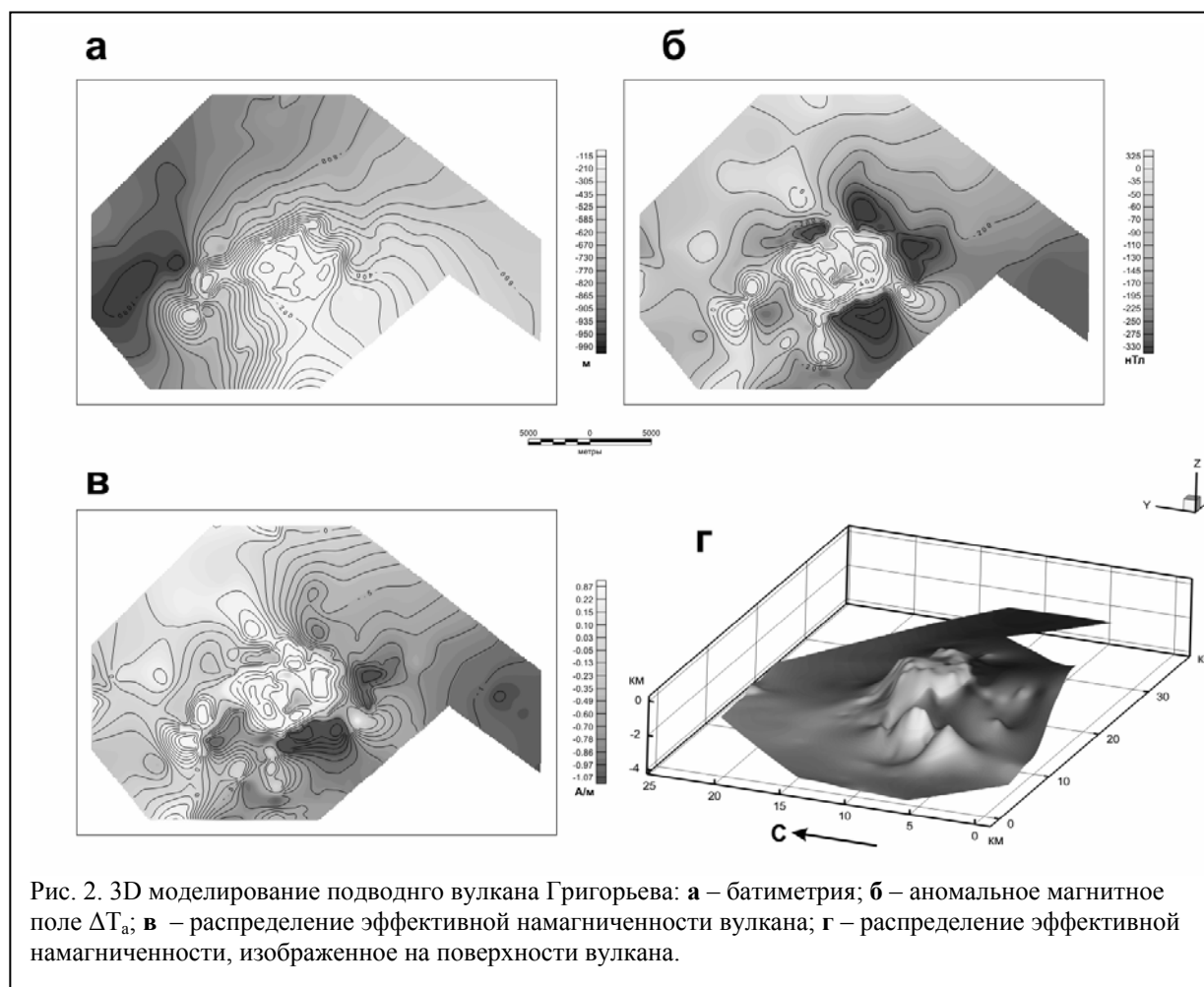


Рис. 2. 3D моделирование подводного вулкана Григорьева: а – батиметрия; б – аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$ ; в – распределение эффективной намагниченности вулкана; г – распределение эффективной намагниченности, изображенное на поверхности вулкана.

Для уточнения глубинного строения изученных подводных вулканов КОД на ряде профилей в 2D варианте был проведен анализ особых точек функций, описывающих аномальные геомагнитные поля. Для этого применялась интегрированная система СИНГУЛЯР, разработанная в начале 1990-х годов Ю.И. Блохом, О.Н. Коняевым и Д.В. Каплуном [11].

Она, в частности, позволяет синтезировать результаты локализации особенностей в едином интерфейсе тремя независимыми и хорошо зарекомендовавшими себя на практике методами, разработанными под руководством В.Н. Страхова, В.М. Березкина и Г.А. Трошкова.

Метод Страхова базируется на аппроксимационном продолжении в нижнюю полуплоскость одного из элементов анализируемого поля. В данном случае для локализации применялось продолжение самого поля. Экстраполяция вниз изолиний продолженного поля указывает на местоположение особенностей как точек пересечения изолиний. Метод Березкина основан на построении в нижней полуплоскости нормированной функции, в данном случае применялся нормированный модуль поля. Экстремумы данной функции, в первую очередь, максимумы, отмечают особые точки. Наконец, метод Трошкова локализует особенности путем анализа отношения производных в скользящих окнах. С его помощью удобно определять тип особых точек,

который на синтезированном изображении показывается одним из трех значков. Точки первого типа – это чаще всего вершины многоугольников, второй тип – это края тонких пластов, точки третьего типа – это центры локальных масс. Синтез результатов позволяет осознать устойчивость проводимой локализации.

Результаты анализа особенностей особых точек функций, описывающих аномальные геомагнитные поля с помощью интегрированной системы СИНГУЛЯР, оказались достаточно интересными [10]. Для неглубоко расположенных вулканов отмечаются не только особые точки на верхней кромке магнитных пород, но зачастую и в глубже залегающих магматических камерах. В ряде случаев с помощью анализа особенностей можно установить направление каналов, подводящих магму (рис. 3).

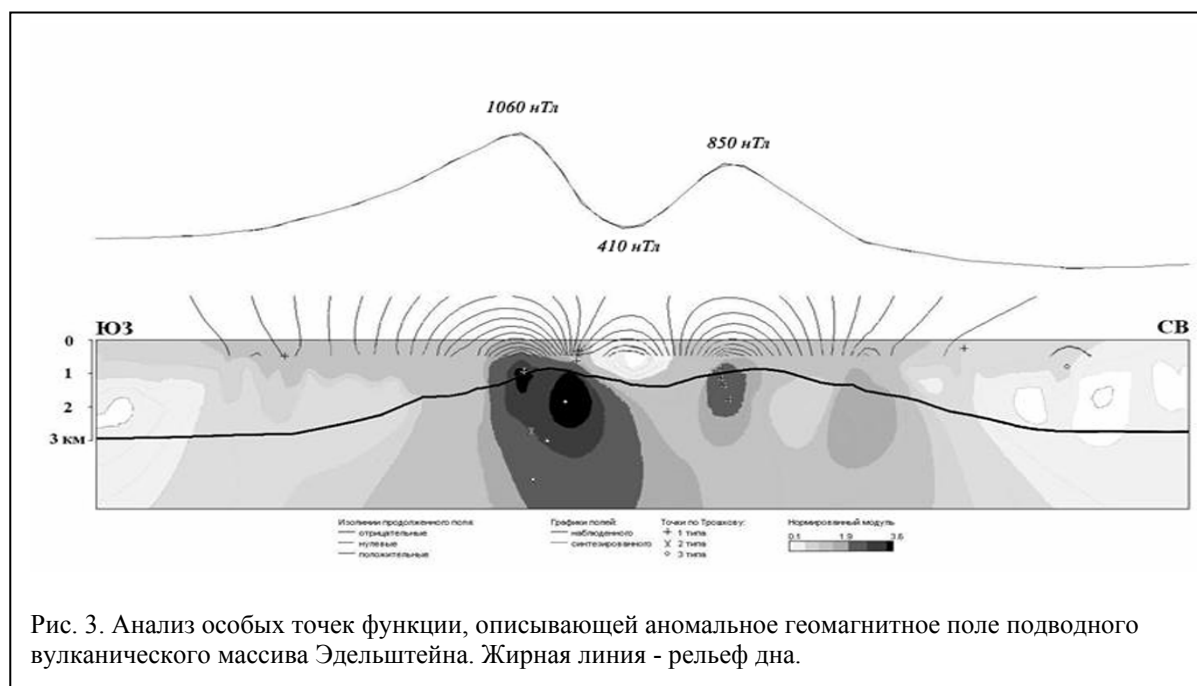


Рис. 3. Анализ особых точек функции, описывающей аномальное геомагнитное поле подводного вулканического массива Эдельштейна. Жирная линия - рельеф дна.

Следует отметить, что двумерный (а не 3D) анализ все же обладает рядом недостатков, в частности, неотъемлемо присущими ему тенденциями проектировать особенности от объектов, залегающих сбоку, на интерпретационный профиль. Благодаря этой неприятной особенности 2D интерпретации, ряд локализуемых особенностей оказывается в толще воды. Впрочем, нанесенная линия дна позволяет в данном случае легко выявлять и отсекают эти боковые влияния. В целом же применение методов особых точек для изучения подводных вулканов оказалось достаточно интересным и перспективным.

### Заключение

Выполненная комплексная интерпретация позволила выявить в пределах подводных вулканических построек вершинные кальдеры, побочные лавовые конусы и экструзивные купола, определить местоположение активных вулканических центров и выделить отдельные лавовые потоки.

В непосредственной близости от вулканов были отмечены линейные зоны, сложенные породами с повышенной намагниченностью. 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.

Сопоставление результатов 2.5D и 3D геомагнитного моделирования подводных вулканов КОД показало достаточно хорошее их совпадение, но трехмерные модели оказываются более дифференцированными и отражающими тонкие детали внутреннего строения вулканических построек, что, несомненно, важно при комплексном изучении подводных вулканов.

Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР для уточнения глубинного строения подводных вулканов оказались достаточно интересным и перспективным, позволяющим определять местоположение магматических камер и направление подводящих каналов.

Не вызывает никакого сомнения, что, если в ближайшее время не будет продолжено изучение подводного вулканизма КОД на должном уровне, последствия для экологии и экономики Сахалинской области и Камчатского края могут быть непоправимыми.

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (проект 09-III-A-08-427).

### Список литературы

1. Авдейко Г.П., Бондаренко В.И., Палуева А.А. и др. Геофизические исследования подводных вулканов Курильской островной дуги: состояние, итоги, перспективы // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. 30 марта-1 апреля 2005 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2005. 3-7.
2. Авдейко Г.П., Гавриленко Г.П., Бондаренко В.И. и др. Подводная гидротермальная активность на Северо-западном склоне о. Парамушир // Вулканология и сейсмология. 1984. № 6. С. 66-81.
3. 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. 67-76.
4. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Подводный вулкан Григорьева (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 5. 17-26.
5. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Вулканический массив Алаид (Курильская островная дуга) // Материалы международного симпозиума «Проблемы эксплозивного вулканизма» к 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный. 25-30 марта 2006 г. Петропавловск-Камчатский / Отв. ред. чл-корр. РАН Е.И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2006. С. 135-143.
6. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Подводные вулканы Парамуширской вулканической группы (Курильская островная дуга) // Глубинное строение, геодинамика, мониторинг, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Четвертые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы / Отв. ред. В.И. Уткин. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2007. С. 134-136.
7. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Геофизическое изучение подводных вулканов Курильской островной дуги // Геофизические исследования Урала и сопредельных регионов // Материалы Международной конференции, посвященной 50-летию Института геофизики УрО РАН, 4-8 февраля 2008 г. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2008. С. 19-22.
8. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А. и др. Геофизический мониторинг подводных вулканов Парамуширской вулканической группы (Курильская островная дуга) // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Труды региональной научно-технической конференции. 11-17 ноября 2007 г., Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2008. Т. 1. С. 45-49.
9. 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.
10. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Геофизические исследования подводного вулкана Берга (Курильская островная дуга) // Геология морей и океанов: Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Москва 16-20 ноября 2009 г. М: ГЕОС, 2009. Т. V. С. 8-13.
11. 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.
12. Воробьев В.М. Магнитное поле как индикатор вещественного состава намагниченных пород (на примере подводных гор юго-востока Охотского моря) // Естественные геофизические поля дальневосточных окраинных морей. Владивосток. 1977. С. 57-63.
13. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Ответственный редактор академик Ю.М. Пушаровский. М.: Наука, 1992. 528 с.
14. Рашидов В.А. Геомагнитные исследования подводных вулканов северной части Курильской островной дуги // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 300-315.
15. Рашидов В.А., Бондаренко В.И. Геофизические исследования подводных вулканов Белянкина и Смирнова (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 107-114.
16. Рашидов В.А., Бондаренко В.И. Подводный вулканический массив Эдельштейна (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 3-13.
17. Рашидов В.А., Бондаренко В.И. Геофизические исследования подводного вулкана Крылатка (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 65-76.
18. Yasui M., Hashimoto Y., Ueda S. Geomagnetic and Bathymetric Study of the Okhotsk Sea - (1) // Oceanographical Magazine. 1967. V. 19. № 1. P. 75-85.