

УДК 551.214.6(571.645):
550.834:550.838.2: 550.382.3

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ, ГАЙОТОВ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

*Л.П. Аникин¹, Ю.И. Блох², О.Ю. Богданова³, В.И. Бондаренко⁴, А.С. Долгаль⁵,
А.А. Долгая¹, Е.В. Жулева³, А.И. Малиновский⁶, А.В. Колосков¹, Г.В. Новиков³,
П.Н. Новикова⁴, А.А. Палуева¹, В.В. Петрова⁷, О.В. Пилипенко⁸, В.А. Рашидов¹,
И.М. Романова¹, А.А. Трусов⁹, П.И. Федоров⁷, Е.И. Чесалова¹⁰*

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский; e-mail: rashidva@kscnet.ru;

² Москва;

³ Институт океанологии РАН, Москва;

⁴ Костромской ГУ им. Н.А. Некрасова, Кострома;

⁵ Горный институт УрО РАН, Пермь;

⁶ Дальневосточный геологический институт, Владивосток;

⁷ Геологический институт РАН, Москва;

⁸ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва;

⁹ ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика», Москва

¹⁰ Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва

Приводятся новые данные о строении подводных вулканов, гайотов и вулканических островов западной части Тихого океана, полученные в рамках интеграции ученых различной специализации академической, вузовской и отраслевой науки в области наук о Земле при проведении комплексных геолого-геофизических исследований в 2015-2016 гг.

Введение

26 апреля 1976 г. было спущено на воду научно-исследовательское судно (НИС) «Вулканолог», с борта которого камчатские вулканологи совместно с отечественными и иностранными коллегами в период 1977-91 гг. плодотворно изучали различные типы проявления подводного вулканизма Тихого океана. Результаты проведенных исследований вошли составными частями в Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана [16] и Тектоническую карту Охотоморского региона [29], представлены в целом ряде востребованных монографий [2, 9-11, 13, 17, 19, 24, 26-29, 31] и отражены в многочисленных публикациях в отечественных и зарубежных журналах. Материалы, полученные в рейсах НИС «Вулканолог», составили фундамент успешно защищенных докторских и кандидатских диссертаций.

До настоящего времени с помощью современных компьютерных технологий и аналитического оборудования в рамках интеграции академической, вузовской и отраслевой науки обрабатываются материалы выполненных геофизических исследований и геологические коллекции, собранные при драгировании и маршрутных исследованиях на вулканических островах во время проведения рейсов НИС «Вулканолог». Для выполнения исследований также используются материалы, полученные во время проведения полевых работ на территории Вьетнама в рамках творческого сотрудничества с Институтом наук о Земле Национального центра Научных исследований СРВ в 1982 и 1985 гг., и на острове-вулкане Алаид (о. Атласова), расположенном в северной части Курильской островной дуги (КОД), в 2013-2015 гг.

[1, 20]. Такая интеграция для выполнения комплексных геолого-геофизических исследований подводных вулканов, гайотов и вулканических островов западной части Тихого океана стала возможной благодаря личной инициативе авторского коллектива и поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ). На различных этапах к выполнению работы привлекаются аспиранты, молодые ученые и студенты, которым маститые ученые передают свои знания и опыт. Таким образом, проводимые исследования имеют не только научную, но и образовательную составляющую. В 2015-2016 гг. интеграция ученых различной специализации в области наук о Земле из пяти городов трех федеральных округов Российской Федерации была успешно продолжена.

Результаты комплексных геолого-геофизических исследований 2015-16 гг.

Выполнены комплексные петромагнитные и петрографо-минералогические исследования базальтов, долеритов и их шлаков, слагающих постройку подводного вулкана Минами-Хиоси в Марианской островной дуге [5, 23]. Установлено, что в основном изученные образцы имеют высокие значения естественной остаточной намагниченности $J_n \sim 1-6$ А/м и фактора Кеннигсбергера $\sim 3-22$. Степень магнитной анизотропии образцов достигает 1.026. Как и в других островодужных позднекайнозойских подводных вулканах западной части Тихого океана [5, 18, 22] изученные образцы сильно дифференцированы по величине J_n и магнитной восприимчивости χ . Основными носителями намагниченности являются как низкокоэрцитивные магнитные минералы (титаномагнетит и магнетит) псевдооднодоменной структуры, так и высококоэрцитивные (гематит). Высокие величины J_n в изученных образцах горных пород, обусловлены псевдодоменной структурой зерен титаномагнетита, а высокие значения χ – большой концентрацией ферромагнитных зерен.

Изучены железомарганцевые образования (ЖМО), отобранные в Идзу-Бонинской и Марианской островных дугах, а также и на бортовом валу Тихоокеанской части Марианского желоба [21]. Эти образования, залегающие на различных типах субстратов, характеризуются определенным составом рудных минералов марганца и железа – вернадитом, бернесситом и гематитом (рис. 1). Поверхность части ЖМО покрыта водородной железомарганцевой пленкой, состоящей из тонкой ассоциации Fe-вернадита и Mn-ферроксигита. В изученных образцах распространен также гетит.

В пределах северной части КОД выделены три морфоструктурные зоны: Парамуширская, Онекотанская и пролива Крузенштерна [4]. Ведущим процессом во время неотектонического этапа развития здесь, вероятно, были периодические опускания фундамента дуги с последующим поднятием в ее осевой части и надстраиванием островов за счет вулканической деятельности. В районе бухты Крашенинникова на о. Парамушир обнаружен глубокий каньон, с глубиной врезания в сотни метров и с V-образным поперечным профилем, обрушение крутых стенок которого может стать причиной возникновения цунами оползневой генезиса.

Сделано предположение о наличии в привершинной части островов Ушишир, расположенных в центральной части КОД, подводной кальдеры диаметром 4-5 км [8]. Изучение подводного вулкана Обручева показало, что наиболее намагниченной является привершинная часть вулканической постройки, и позволило предположить наличие на глубинах 3700-4200 м застывшего магматического очага [3]. Вероятнее всего, вулканическая постройка образовалась в неогеновое время.



Рис. 1. Образцы ЖМО опробованные на бортовом валу Тихоокеанской части Марианского желоба на глубине 2200 м. Измененная порода субстрата покрыта тонкой черной пленкой, состоящей из вернадита, частично плохо окристаллизованного. Местами встречен гетит. В небольшом количестве в виде чешуйчатых агрегатов присутствует бернессит.

Томографический анализ подводных вулканов Берга, 1.4 и Григорьева (рис. 2) выявил неоднородную структуру распределения значений эффективной намагниченности, свидетельствующую о сложном глубинном строении этих построек.

Применение программы ИГЛА показало, что направление векторов J_n изученных подводных вулканов КОД не совпадают с современным направлением геомагнитного поля Земли T_0 [6]. Образование подводных вулканических построек происходило здесь в периоды глобальных геомагнитных возмущений. Привлечение информации о гравитационном поле КОД, получаемой с помощью спутниковой интерферометрической радарной альтиметрии, свидетельствует о том, что вычисленные таким образом аномалии Фая весьма четко отражают расположение подводных вулканов и позволяют проводить количественную оценку параметров геоплотностных неоднородностей [7].

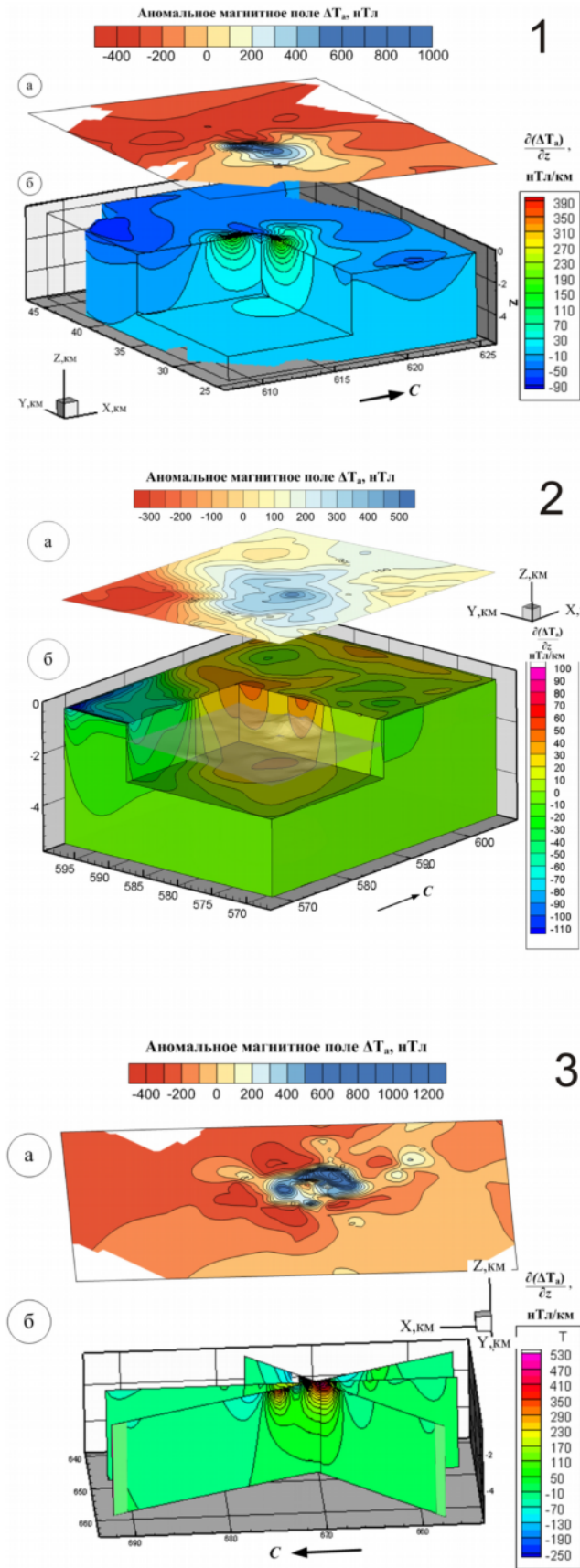
Материалы проведенных исследований отражены в сети Интернет. На сайте Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН постоянно пополняется информационный ресурс (ИР) «Сравнительный анализ материалов геомагнитных исследований различных типов проявлений позднекайнозойского подводного вулканизма в Тихом океане» (http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04).

На геопортале ИВиС ДВО РАН реализована веб-ориентированная база данных «Позднекайнозойские подводные вулканы Тихого океана» (http://geoportal.kscnet.ru/submarine_volcanoes/), содержащая описания подводных вулканов, данные о магнитных свойствах и химическом составе драгированных образцов.

Подробные сведения о подводных вулканах КОД, обширная библиография по изучаемым объектам, картографические сервисы их визуализации представлены в комплексной информационной веб-системе «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги» (<http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/>) геопортала [24].

ИР «Магеллановы горы (Тихий океан)» (<http://guyot.ocean.ru/>) представляет собой кондиционный образец сбора аналитической, картографической и библиографической информации об океанической структуре [12].

Он не только объединяет и позволяет организованно хранить существующие первичные данные и результаты научных исследований гайотов Магеллановых гор, но и дает возмож-



1 ность использовать эти материалы для региональных и специализированных работ всем пользователям.

Созданные специализированные ИР предоставляют многочисленным исследователям уникальную информацию для изучения различных типов проявления подводного вулканизма западной части Тихого океана.

2 Получены новые петрологические и изотопно-геохимические данные о составе пород шельфовой зоны Южно-Китайского моря (о-ва Тху, Ре, Хон-Жо, Катуик, подводный вулкан Иль де Сандр) [14]. Хотя изученные вулканы относятся к различным структурным областям: континентальная окраина, шельфовая зона, окраинный морской бассейн, они связаны с проявлением однотипного рифтогенного вулканизма. Однотипность проявления вулканизма на всей территории в рассматриваемых возрастных границах исключает наличие какой-либо зональности при переходе от одного типа структур локализации к другому. Показана ведущая роль мантийного диапиризма в ходе эволюции вулканизма всего рассматриваемого района Индокитая. Подробно изучена коллекция мантийных ксенолитов (рис. 3), собранная во время полевых исследований на территории Вьетнама [13, 14, 17].

3 Песчаные породы о. Тху являются петрогенными и относятся к субаркозам [15]. Они характеризуются высокой химической зрелостью, свидетельствующей о значительной степени выветривания пород областей сноса, существенной гидродинамической сортировкой, а также преобладанием в их составе сиалической кластики. Среднеплейстоценовые вулканогенно-осадочные породы островов группы

Рис. 2. Изолинии аномального магнитного поля ΔT_a (а) и 3D-диаграмма (б), отражающая пространственное распределение квазинамагниченности горных пород подводных вулканов КОД: Берга (1), 1.4 (2) и Григорьева (3).



Рис. 3. Мантийный ксенолит лерцолита в базанитах Вьетнама.

Тху – Катуик сложены пирокластическим материалом основного состава близкого к базальтам трахибазальт-трахитовой и щелочно-базальтовой серий Вьетнама, имеющим внутриплитные характеристики и связанным с существующими здесь обстановками растяжения. Формирование вулканогенных отложений происходило в субэкральных условиях вблизи от центров вулканических извержений.

Во время проведения полевых работ в августе 2015 г. на острове-вулкане Алаид [20] и при

последующих лабораторных исследованиях выделены самородное железо, самородный алюминий, самородная медь, муассанит, корунд, гранат, апатит и битуминозные соединения. На образцах, отобранных на мысе Сердитый, встречены пленки окислов железа, а на образцах, отобранных на мысе Пологий – окислов марганца. В свалах южного склона побочного вулкана Такетоми оконтурена область развития видимых проявлений меди. В районе мыса Пологий в пределах лавового потока был обнаружен небольшой водоем с водой пурпурного цвета и установлено, что такой цвет воды обусловлен пурпурными бактериями рода *Thiocapsa*.

Геоморфологические исследования, которые эпизодически проводятся с 1981 г., показали, что постройка Такетоми под действием денудационных процессов продолжает перманентно разрушаться. В толще тефроидов постоянно происходит осыпание и обнажаются шлаковые бомбы (рис. 4).

Это, к большому сожалению, подтверждает тезис о том, что если скорость денудационных процессов существенно не изменится, то в ближайшее время Такетоми опять станет



Рис. 4. Разрушение постройки Такетоми (КОД, остров-вулкан Алаид), август 2015 г.

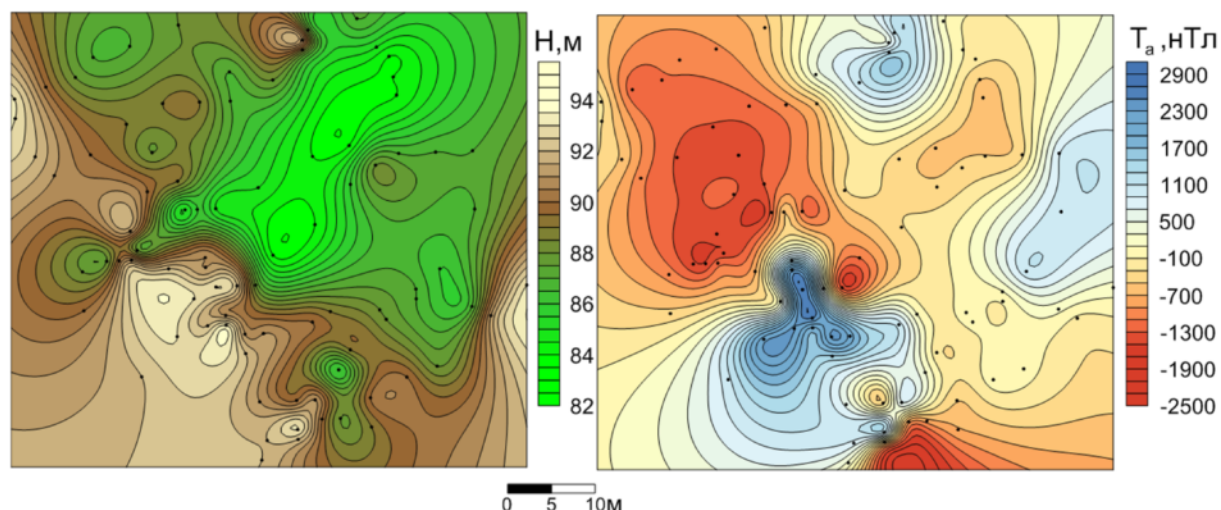


Рис. 5. Рельеф (слева) и аномальное магнитное поле ΔT_a (справа) вершинной бочки Такетомии (КОД, остров-вулкан Алаид).

островом и это значительно затруднит его дальнейшее изучение. При проведении геомагнитных работ установлено, что к центру вершинной боки Такетомии приурочена интенсивная положительная аномалия ΔT_a (рис. 5), обусловленная, вероятнее всего, застывшим подводным каналом, а аномальное магнитное поле лавовых потоков мыса Лава имеет сложный мозаичный характер [1, 20].

Интерпретация данных полученных при геомагнитных исследованиях побочных конусов острова-вулкана Алаид с помощью интегрированной системы СИНГУЛЯР показала, что основные особые точки функций, описывающих аномальные магнитные поля на коротких интерпретационных профилях, являются приповерхностными и приурочены к верхней кромке магматических пород на глубинах от нескольких метров до 10-15 м от дневной поверхности.

Томографический анализ аномальных магнитных полей выявил крупные контрастные геомагнитные неоднородности, приуроченные к глубинам приблизительно 20–80 м и, возможно, распространяющиеся на большие глубины (рис. 6).

Создана реляционная база данных, предназначенная для хранения результатов проведения эхолотного промера, непрерывного сейсмоакустического профилирования и гидромагнитной съемки, выполненных в рейсах НИС «Вулканолог». База данных содержит сведения о съемочных галсах, полученных в ходе 11 рейсов НИС «Вулканолог» в пределах КОД (6900 записей) и в ходе 19 рейсов в пределах Алеутской, Идзу-Бонинской, Марианской островных дуг, Берингова, Южно-Китайского, Филиппинского и Ново-Гвинейского морей (12400 записей). Для работы с базой данных в интегрированной среде программирования BorlandDelpi создано приложение Galses.

Заключение

В результате выполненных в 2015-2016 гг. комплексных геолого-геофизических исследований получены новые данные о строении подводных вулканов, гайотов и вулканических островов западной части Тихого океана, позволившие расширить наши представления о масштабах, продолжительности и времени проявления различных типов подводного вулканизма в этом регионе.

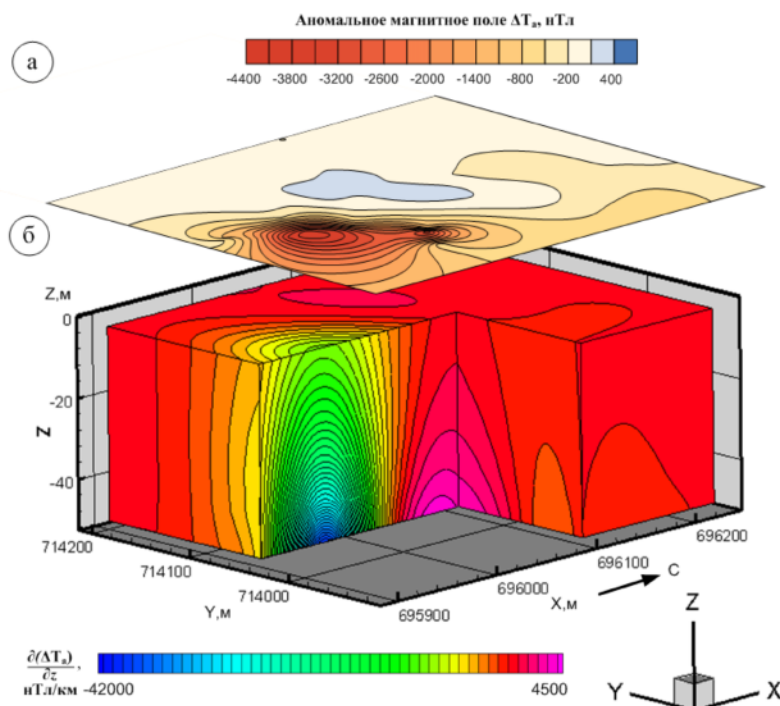


Рис. 6. Томографическая интерпретация аномального магнитного поля шлакового конуса (КОД, остров-вулкан Алаид, прорыв Олимпийский): а – аномальное магнитное поле ΔT_a со снятым линейным фоном; б – 3D-диаграмма распределения эффективной намагниченности горных пород.

Успешному выполнению работ, несомненно, способствовала интеграция ученых различной специализации академической, вузовской и отраслевой науки и в области наук о Земле из пяти городов трех федеральных округов Российской Федерации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 15-05-02955, 15-05-01823 и 13-05-12090).

Список литературы

1. Аникин Л.П., Блох Ю.И., Долгаль А.С. и др. Геомагнитные исследования побочных извержений острова-вулкана Алаид (о. Атласова, Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 43-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского (г. Воронеж, 26 января -30 января 2016 г.). Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга», 2016. С. 34–35.
2. Антонов А.Ю. Геохимия и петрология мезо-кайнозойских магматических образований и мантийный диапиризм. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2008. 250 с.
3. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные геолого-геофизические исследования подводного вулкана Обручева (Курильская островная дуга) // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Восьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург 14–18 сентября 2015. Екатеринбург: УрО РАН, 2015. С. 26–29.
4. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Геолого-геофизические исследования подводных вулканов северной части Курильской островной дуги // Пятая научно-техническая конференция Проблемы комплексного геофизического мониторинга

- Дальнего Востока России, 27 сентября - 3 октября 2015 г., г. Петропавловск-Камчатский / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 25–29.
5. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные исследования островодужных подводных вулканов Северо-Западной части Тихого океана // IV Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование: MARESEDU-2015». Сборник тезисов. 19-24 октября 2015 г. Москва, Ломоносовский корпус МГУ. С. 63–65.
 6. Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Изучение подводных вулканов Курильской островной дуги с помощью спутниковой радарной альтиметрии // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 43-й сессии Международного научного семинара им. Д. Г. Успенского (г. Воронеж, 26 января — 30 января 2016 г.). Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга», 2016. С. 34–35.
 7. Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Оценка остаточной намагниченности подводных вулканов Курильской островной дуги с применением программы ИГЛА // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 2. Вып. № 26. С. 5–10.
 8. Бондаренко В.И. Строение и предполагаемая история развития вулканического массива Ушишир (Центральные Курилы) // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2015. Т. 5. С. 48–52.
 9. Гавриленко Г.М. Подводная вулканическая и гидротермальная деятельность как источник металлов в железо-марганцевых образованиях островных дуг. Владивосток: Дальнаука, 1997. 164 с.
 10. Геотраверс Северо-Китайская равнина – Филиппинское море – Марианский желоб / Отв. ред.: А.Г.Родников (СССР), Н. Иседзаки, У. Сики (Япония), Лю Годун (Китай). М.: Наука, 1991. 150 с.
 11. Егоров Ю.О. Геологическое строение и газонасыщенность морских осадков современных вулканических областей. Владивосток: Дальнаука, 2001. 138 с.
 12. Жулева Е.В., Рашидов В.А., Метальников А.А., Чесалова Е.И. Специализированный информационный ресурс «Магеллановы горы (Тихий океан)» // Геоинформатика. 2015. № 4. С. 54–62.
 13. Колосков А.В. Ультраосновные включения и вулканы как саморегулирующаяся геологическая система. М.: Научный мир, 1999. 223 с.
 14. Колосков А.В., Федоров П.И., Рашидов В.А. Новые данные о составе продуктов четвертичного вулканизма шельфовой зоны северо-западного обрамления Южно-Китайского моря и проблема астеносферного диапиризма // Тихоокеанская геология. 2016. Т. 35. № 2. С. 3–28.
 15. Малиновский А.И., Рашидов В.А. Особенности вещественного состава осадочных и вулканогенно-осадочных пород островов группы Фу-Куй – Катуик (шельф Вьетнама) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 3. Вып. № 27. С. 12–34.
 16. Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана / Удинцев Г.Б. (ред.). МОК (Юнеско), РАН, ФГУП ПКО «Картография», ГУНиО, Москва-Санкт-Петербург, 2003. 192 с.
 17. Петрология и геохимия островных и окраинных морей / Отв. ред. О.А. Богатиков. М.: Наука, 1987. 335 с.

18. *Пилипенко О.В., Рашидов В.А.* Новые данные о петромагнитных свойствах горных пород, слагающих подводные вулканы Курильской островной дуги // Сборник материалов III Школы-конференции «Гординские чтения», проходившей с 20 по 21 апреля 2015 года в конференц-зале Института Физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии Наук. М.: ИФЗ РАН, 2015. С. 17–21.
19. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Отв. ред. Пущаровский Ю.М. М.: Наука, 1992. 528 с.
20. *Рашидов В.А., Аникин Л.П.* Полевые работы на вулкане Алаид (о. Атласова, Курильские острова) в августе 2015 года // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 3. Вып. № 27. С. 102–107.
21. *Рашидов В.А., Богданова О.Ю., Новиков Г.В.* Рудные минералы железомарганцевых образований западно-тихоокеанской переходной зоны // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2015. Т. 2. С. 226–229.
22. *Рашидов В.А., Пилипенко О.В., Петрова В.В.* Петромагнитные и микрозондовые исследования пород подводной вулканической группы Софу (Идзу-Бонинская островная дуга, Тихий океан) // Вулканология и сейсмология. 2015. № 3. С. 36–51.
23. *Рашидов В.А., Пилипенко О.В., Петрова В.В.* Геолого-геофизические исследования подводного вулкана Минами-Хиоси (Марианская островная дуга) // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2015. Т. 5. С. 237–241.
24. *Родников А.Г., Забаринская Л.П., Рашидов В.А., Сергеева Н.А.* Геодинамические модели глубинного строения регионов природных катастроф активных континентальных окраин. М.: Научный мир, 2014. 172 с.
25. *Романова И.М.* Инфраструктура пространственных данных Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН: текущее состояние и перспективы развития // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 1. Вып. 25. С. 72–78.
26. *Селиверстов Н.И.* Сейсмоакустические исследования переходных зон. М.: Наука, 1987. 112 с.
27. *Селиверстов Н.И.* Строение дна камчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.
28. *Селиверстов Н.И.* Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2009. 191 с.
29. *Селиверстов Н.И.* Подводные морфоструктуры Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. 162 с.
30. Тектоническая карта Охотоморского региона. Масштаб 1:2500000 / Отв. ред. Н.А. Богданов, В.Е. Хаин. М.: Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН, 2000.
31. *Федоров П.И.* Кайнозойский вулканизм в зонах растяжения на восточной окраине Азии. М.: ГЕОС, 2006. 316 с.