

УДК 551.21: 551.24

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНИЗМА ПАРАМУШИРСКОЙ ГРУППЫ, КУРИЛЬСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА

© 2012 О.В. Бергаль-Кувикас

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: kuvikas@mail.ru

Данная работа представляет собой анализ пространственного проявления вулканизма Парамуширской группы Курильской островной дуги. Исследования периодов активности вулканов и сопоставление объемов извергнутых продуктов, позволило охарактеризовать особенности магматизма на фронте и в тылу дуги в зависимости от глубины до субдукционного слэба и положения относительно зон разломов. На основе данных по локализации вулканизма, микроскопического и геохимического анализов его продуктов были установлены отличительные геологические и петрологические признаки вулканогенных образований трех основных зон: фронтальной, промежуточной и тыловой.

Ключевые слова: Курильская островная дуга, геохимические особенности, пространственное проявление вулканизма.

ВВЕДЕНИЕ

Курильская островная дуга (КОД) представляет собой типичную субдукционную систему, состоящую из глубоководного желоба, тектонической дуги, междугового прогиба, вулканической дуги, задугового бассейна (Курильская котловина). Ее протяженность от мыса Лопатка на юге Камчатки до о. Хоккайдо составляет около 1200 км при ширине до 100 км. В пределах дуги по данным SVERT выделено 36 активных наземных вулкана и 116 подводных вулканов четвертичного возраста (Авдейко и др., 1992; Бондаренко, Рашидов, 2008). Наиболее характерной чертой пространственного положения вулканов является их концентрация в цепочки, косо, под разными углами, ориентированными относительно общего простираения дуги (Авдейко и др., 1992).

В работе (Пискунов и др., 1979) на основании анализа химического состава вулканитов, с использованием предложенного авторами индекса классификации, впервые была установлена поперечная латеральная петрохимическая зональность Курильских островов. Последняя, в дальнейшем, была исследована более детально, с использованием новых изотопно-геохимических данных (Bindeman, Bailey, 1999;

Ishikawa, Tera, 1997; Martynov et al., 2010). Наряду с поперечной зональностью, рядом исследователей отмечалась продольная геохимическая неоднородность, связанная с возрастанием в северном направлении в однотипных породах содержания калия и некоторых других некогерентных редких элементов (Антонов, 2006; Дриль и др., 2005; Мартынов и др., 2010; Федорченко и др., 1989 и др.). По данным (Мартынов и др., 2010) в основании КОД находится гетерогенный фундамент – Северный сектор расположен на продолжении Южно-Камчатского блока и характеризуется большей деплиторированностью мантийного источника по сравнению с Южным сектором.

Кроме того, в работе (Мартынов и др., 2009) было сделано предположение о связи аномального вулканизма о. Парамушир с распространением под северные Курилы температурной аномалии, реконструируемой под южной Камчаткой и вовлечением в магмогенезис расплавов, образованных при плавлении субдукционного осадка.

В 70-х-90-х гг. XX в. значительные работы в пределах КОД выполнялись сотрудниками Института вулканологии и Института вулканической геологии геохимии ДВО РАН. Были проведены комплексные геолого-геофизические

исследования наземных и подводных вулканов в рейсах НИС «Вулканолог» (Авдейко и др., 1992; http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_05/kurily/index.html). Благодаря масштабному пространственному отбору вулканических пород, были исследованы геохимические и минералогические особенности вулканов КОД (Авдейко и др., 1992; Volynets et al., 1991). Вкрест простираения дуги были выявлены резкие различия лав фронтальной и тыловой зон с выделением двух зон магмогенерации, связанных с двумя уровнями отделения летучих от подвигаемой литосферной плиты (Avdeiko et al., 2006). Однако различия вулканизма и состава его продуктов не были выявлены в полной мере.

В настоящее время в лаборатории подводного вулканизма Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН продолжают работы по детальному изучению минералогических и изотопно-геохимических характеристик вулканов и выявлению закономерных вариаций химического состава во времени и пространстве с целью уточнения условий магмообразования и петрогенезиса вулканических пород.

В данной работе будут представлены результаты изучения продуктов современного вулканизма Парамуширской группы – самой северной группы вулканов КОД (Подводный..., 1992), в частности, вулканы о. Парамушир, о. Анциферова, о. Атласова и близлежащие подводные вулканы – Григорьева, 1.3, 1.4.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

В пределах КОД наиболее широким распространением пользуются плиоцен-четвертичные вулканические породы субдукционного (островодужного) типа, состав которых меняется от базальтов до риолитов, однако доли пород разного состава в разных сегментах дуги различны. В целом, преобладают андезибазальты и андезиты (60-70%) (Авдейко и др., 2002; Авдейко и др., 2003).

КОД характеризуется высокой современной тектонической и вулканической активностью. Положение вулканов и их состав определяются глубиной до субдукционной плиты и расстоянием от вулканического фронта (Авдейко и др., 1992). По площадной плотности вулканических центров вкрест дуги были выделены фронтальная и тыловая вулканические зоны с промежуточной областью ослабления вулканической активности (Авдейко и др., 1992). Площадная плотность в тыловой зоне Северных Курил составляет около 5 вулканических центров/1000 км² при глубине до погружающейся плиты 100-120 км (Авдейко и др.,

1992); во фронтальной зоне – 2.65/1000 км² при глубине до погружающейся плиты – 140-160 км (Авдейко и др., 1992).

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНОВ ПАРАМУШИРСКОЙ ГРУППЫ КОД

Фундамент о. Парамушир, одного из самых больших Курильских островов, сложен миоцен-плиоценовыми пирокластическими отложениями округловской свиты, и залегающими выше породами плиоцен – нижнеплейстоценового Левашовского комплекса. Левашовский комплекс представлен лавовыми потоками и дайками андезибазальтового состава (Курильские..., 2009).

В плейстоцене и голоцене формировались покровные андезитовые лавовые потоки хребта Вернадского на юго-западе о. Парамушир (вулканическая группа Чикурачки, Татарина, Ломоносова, Пик Фусса) и вулканическая группа Эбеко на севере (Федоченко и др., 1989).

По данным Г.С. Горшкова (1967) в четвертичное время было два оледенения: первое в плейстоцене, второе в голоцене, позволяющие датировать некоторые вулканические извержения. По этим данным было установлено, что большинство вулканов Парамуширской группы КОД образовались в плиоцен-четвертичное время.

По тектоническому положению и геологическому строению в пределах Парамуширской группы КОД можно выделить вулканы фронтальной (вулканы хребта Карпинского – вулканы Чикурачки, Татарина, Ломоносова, подводный вулкан 1.3), промежуточной (вулканы Пик Фусса, Анциферова, Эбеко) и тыловой (вулкан Алаид и подводные вулканы Григорьева и 1.4) зон.

Изученный подводный вулкан 1.4, несмотря на его тектоническую приуроченность к тыловой зоне, по геохимическим характеристикам пока не возможно отнести ни к одной из выделяемых зон, так как полученные данные по нему весьма противоречивы. Одна часть изученных образцов характеризуется петрологическими особенностями пород тыловой зоны, другая – фронтальной. Для определения четкой приуроченности этого вулкана к тыловой или фронтальной зоне будут проведены дополнительные исследования.

Вулканы фронтальной зоны

Группа вулканов хребта Карпинского. Вулканы хребта Карпинского находится на южной части острова Парамушир (рис. 1) и имеют «линейно-гнездовое строение», что, возможно, указывает на приуроченность к единому разлому (Горшков, 1967).

Вулкан Чикурачки – типичный стратовулкан, сложенный преимущественно пирокласти-

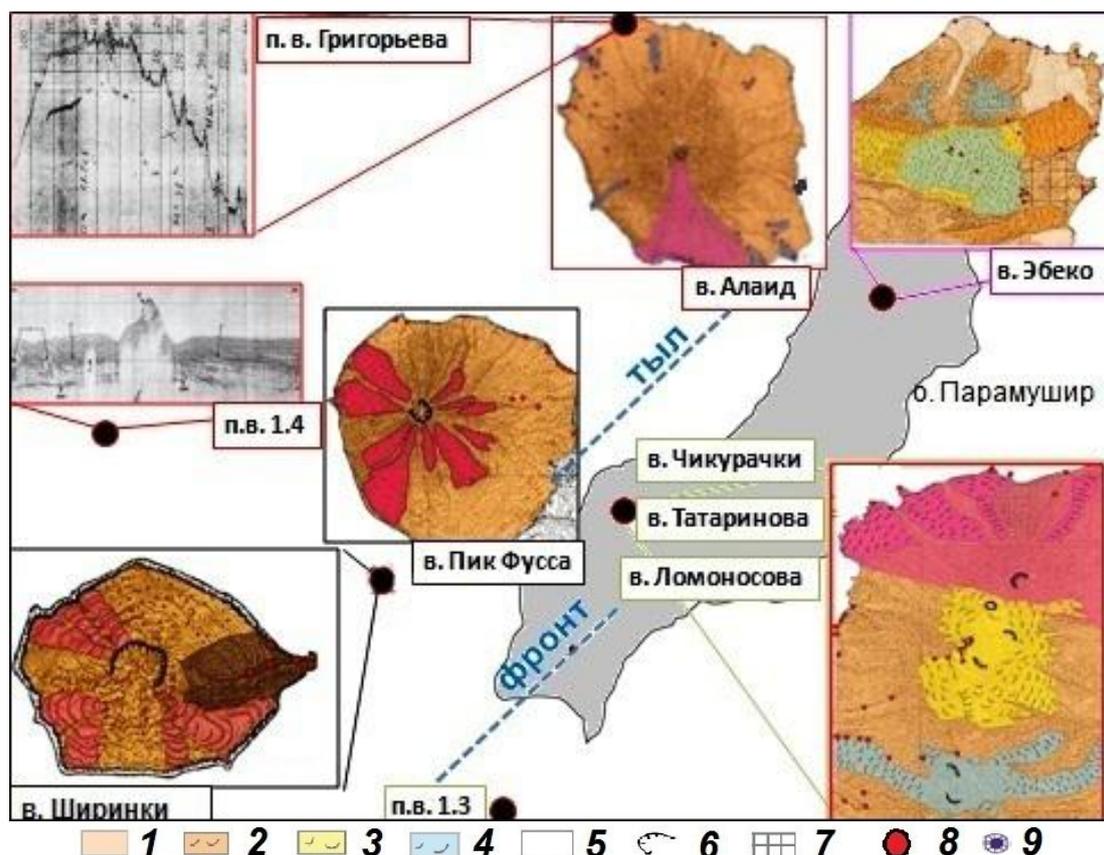


Рис. 1. Схемы геологического строения и структурные элементы вулканических групп по данным (Горшков, 1967; http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_05/kurily/). Условные обозначения: 1 – эрозионные отложения четвертичного времени; 2 – лавовые потоки доледникового времени; 3 – лавовые потоки, сформировавшие в межледниковье; 4 – голоценовые лавовые потоки; 5 – морские отложения; 6 – кратер; 7 – фундамент; 8 – точки отбора образцов; 9 – побочные конуса.

ческими отложениями. Он находится на древнем лавовом основании (Горшков, 1967). Группа вулкана Татаринова, тесно примыкающая с юга к вулкану Чикурачки, имеет довольно сложное строение и состоит, по меньшей мере, из шести эруптивных центров. Современные центры располагаются на остатках старой, довольно высокой (до 1400 м) вулканической постройки, сильно разрушенной ледниковой деятельностью. Ледниковые формы рельефа играют весьма заметную роль, и лишь на восточном склоне экзарационные формы перекрыты современными лавами (Горшков, 1967).

Группа вулкана Ломоносова (рис. 1), примыкающая с юга к массиву вулкана Татаринова, состоит из пяти эруптивных центров (Горшков, 1967). Первый из этих центров находится на самой границе двух массивов и является чисто эксплозивным, без потоков лавы. Второй конус – гора Борисяка – несет на вершине кратер, от которого в восточном направлении на 3.5 км спускаются потоки крупноглыбовой лавы. С юга к кратеру Борисяка примыкают два крупных конуса (Горшков, 1967). Первый из них имеет небольшой кратер, от которого к востоку спускает-

ся длинный поток лавы андезибазальтов. В 5.5 км от кратера, в долине р. Тухарки, он достигает подножия массива. Другой конус – собственно Ломоносова (1681 м) – является экструзивным куполом. Из-под агломератовой мантии купола, видимо, из старого кратера, ныне запечатанного куполом, к западу спускается лавовый поток длиной более 7 км. Он доходит почти до берега Охотского моря (Горшков, 1967).

Подводный вулкан 1.3. Расположен на гребне подводного хребта, отходящего на север от северо-восточной оконечности о. Симушир, в 20 км от берега (Авдейко и др., 1992). Он занимает крайнее положение, соответствующее вулканическому фронту, располагаясь на его резком изгибе. На южной оконечности подводного хребта, отходящего от о. Симушир, на глубине около 500 м, имеется плоская площадка, маркирующая, по-видимому, центр вулканического массива. Западные, южные и восточные склоны массива крутые (20-25°), неровные. Судя по характеру волновой картины на сейсмограммах непрерывного сейсмического профилирования (НСП), они сложены плотными вулканическими породами. Маломощный (до 250-300 м) чехол осадков

появляется лишь у самого основания массива (Авдейко и др., 1992).

Вулканы промежуточной зоны

Вулканическая группа Пик Фусса - Ширинки.

Вулкан Пик Фусса (рис. 1) — единственный одиночный стратовулкан на о. Парамушир. Вулкан образует отдельный полуостров у юго-западного побережья острова в виде полукруга диаметром приблизительно 9 км и соединен с предгорьями хребта Карпинского низменным перешейком (Горшков, 1967). Пик Фусса образует правильный, красивый, сильно усеченный конус. На вершине расположен кратер, представляющий очень крутую воронку диаметром до 700 м и глубиной до 300 м.

Вулкан Ширинки (о. Анциферова) образует изолированный остров, поднимающийся из вод Охотского моря в 15 км к западу от Пика Фусса. Он имеет очертания почти правильного круга диаметром в 3 км (Горшков, 1967). Сильно усеченный конус вулкана поднимается на 761 м над ур. м. Вершинный кратер диаметром приблизительно в 750 м окружен венцом скал и широко открыт в южном направлении. В нескольких местах по склонам конуса от кратера спускаются потоки лав, которые доходят до берега моря. В восточной части острова (рис. 1) обнажаются остатки более древней постройки с моноклинальным падением пород к востоку (Горшков, 1967).

Вулканическая группа вулкана Эбеко. Вулканы Эбеко, Ветровой и Влодавца входят в состав хребта Вернадского (рис. 1). Они имеют «линейно-гнездовое строение» (Горшков, 1967). Вулкан Эбеко представляет собой конус относительной высотой 200–220 м (1037 м абс. высоты), сильно удлиненный в меридиональном направлении с тремя соприкасающимися кратерами на вершине, которые вытянуты цепочкой с севера на юг. Размеры всех трех кратеров примерно одинаковые: диаметр по гребню — около 300–350 м, диаметр дна — около 200 м. Суммарный размер вершинного кратера — 350×800 м. На восточном и западном склонах (рис. 1) находятся два открытых амфитеатра, представляющих, по-видимому, боковые эксплозивные кратеры, сильно расширенные последующей эрозией; такой же кратер меньшего размера с небольшим озерком имеется на северном склоне (Горшков, 1967).

Вулканы тыловой зоны

Вулканический массив Алаид. Алаид — самый северный и наиболее высокий остров Курильского архипелага. Это остров-вулкан, находящийся в 20 км к северо-западу от берегов о. Парамушир и имеет в плане очертания овала. Древний вершинный кратер диаметром около 1,5 км сильно разрушен и широко открыт к югу; гребень его хорошо сохранился в виде полуколь-

ца только в северной половине (Абдурахманов и др., 1978; Горшков, 1967). Наивысшая точка вулкана, так называемый Пик Главный, — 2339 м над ур. м. — расположена в северо-восточной части гребня. У основания конуса и в нижней части его склонов располагаются довольно многочисленные небольшие побочные кратеры (32) со шлаковыми конусами (рис. 1). По данным (Vaganov et al., 2002) ориентация шлаковых конусов не случайна, она отражает региональное тектоническое напряжение в регионе, возможно зависящее от действия задугового Курильского бассейна. В историческое время вулкан неоднократно проявлял активность (Гущенко, 1979; Федорченко и др., 1979; Simkin, Sieber, 1994) (рис. 2). Так в 1933–1934 г. произошло латеральное извержение, впоследствии получившее название «Такетоми», которое началось как подводное извержение, а затем образовался маленький островок, который со временем примкнул к наземной части вулкана Алаид (Tahadake, 1934). В 1972 г. произошло еще одно побочное извержение, которое получило название «Прорыв Олимпийский». Особенности химического и минерального составов извергнутых пород этого извержения описаны в публикациях (Авдейко и др., 1972; Авдейко и др., 1974). В 1981 г. на вулкане произошло сильное эксплозивное извержение из вершинного кратера (Федотов и др., 1981; Федотов и др., 1982; Флеров и др., 1982).

Подводный вулкан Григорьева или подводный вулкан 1.1. по (Авдейко и др., 1992) поднимается с глубин 800–850 м, и его основание срослось с основанием вулкана Алаид. Размеры вулкана по основанию составляют 12.5×15 км (Блох и др., 2006а, 2006б).

Вершина подводного вулкана Григорьева срезана абразией и нивелирована 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. Возможно, они являются отпрепарированным некком, а может быть образовались после формирования вершины и представляют собою голоценовые экструзии или небольшие лавовые постройки (Блох и др., 2006а, 2006б; http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_05/kurily/grigorjev.html).

Подводный вулкан 1.4. Находится на пересечении прогиба Атласова с продолжением поперечной структуры 4-го Курильского прогиба в 80 км к западу от о. Парамушир (рис. 1). Он расположен далеко в тылу КОД на удалении 280 км от оси Курило-Камчатского желоба, возвышаясь над окружающим дном Охотского моря на 650–700 м. Основание его слегка вытянуто в северо-западном

Года извержений	Алаид	Эбеко	Чикурачки	Карпинского	Пик Фусса
1793	2	2	2		
1853			2		
1854	2		2		2
1855			2		
1856			2		
1857			2		
1858			2		
1859		3	2		
1860	2				
1869					3
1878					3
1881					3
1882					3
1894	2				
1933	2				
1934	2	2			
1935		2			
1946		3		3	
1947		3			
1948		3			
1949		3			
1950		3			
1951		3			
1952		3		2	
1953		3		3	
1954		3			
1955		3			
1956		3			
1957		3			
1958		3	2		
1959		3			
1961			2		
1964			2		
1967		3			
1969		3			
1972	2				
1973			2	3	
1975		3			
1981	2				
1983			2		
1987		3			
1989		3			
1991		3			
1998		3			
2002			2		
2003					
2004		3		3	3
2005		3	2		
2006		3			
2007		3	2		
2008		3	2		
2009		3			
Объем вулкана (км ³)	114	13	47	5	33



Рис. 2. Активность вулканов Парамуширской группы КОД, по данным (Гушенко, 1979; Simkin, Siebert, 1994; <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>): 1 – сильные эксплозивные извержения; 2 – фумарольная активность; 3 – фреатомагматические извержения.

к региональным разломам, различно ориентированных относительно глубоководного Курило-Камчатского желоба (Авдейко и др., 1992; Горшков, 1967; Добрецов, 2010; Опыт..., 1962).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящем исследовании была использована коллекция образцов, собранных с подводных и наземных вулканов в рейсах НИС «Вулканолог». Часть образцов, отобранных в 2007-2008 гг. на вулкане Алаид (о. Атласова), любезно предоставил В.А. Рашидов. Анализировался материал с наземных вулканических построек о. Парамушир и о. Анциферова (вулкан Ширинки), собранный в рамках проекта Kurile Bioscomplexity project (организатор – Университет Вашингтон, США) в 2007-2008 гг. Также использовались некоторые данные XRF-анализа из публикации (Hasegawa et al., 2011).

Для изучения минерального состава и особенностей кристаллизации вкрапленников и основной массы применялся метод визуально-микроскопического анализа. Автором подготовлены и описаны 152 шлифа. Представительные шлифы по вулканам Чикурачки, Татарина, Ломоносова, Эбеко были использованы из коллекции Хасегавы Т. (Hasegawa et al., 2011). Данные по подводным вулканам сопоставлялись с результатами предыдущих минералогических исследований (Авдейко и др., 1992).

С целью изучения пространственных изменений валового химического состава вулканических пород применялся метод рентгенофлуоресцентного анализа (XRF), который проводился в Университете Хоккайдо (Япония) на спектрометре Philips PW-1404.

Анализ литературных источников (Гушенко, 1979; Федорченко и др., 1979; Simkin, Sieber, 1994) позволил изучить пространственно-временную активность вулканических центров в изучаемом районе. Данные о распространении вулкаников и о возрасте их образования были взяты из Атласа Курильских островов (2009). Данные по объемам подводных вулканов были приведены из базы данных Лаборатории подводного вулканизма ИВиС ДВО РАН (http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_05/kurily/kuril.html). С помощью функции построения профилей программы Google Map (рис. 3), были подсчитаны объемы продуктов вулканизма, сформированных в четвертичное время.

Для типичных стратовулканов использовалась формула конуса (рис. 3). Для вулканов,

направлении и имеет размеры ~ 6.5×7 км. Вершина горы осложнена рядом пиков. Отрицательная форма рельефа почти замкнутым кольцом опоясывает основание вулкана (Авдейко и др., 1992; Бондаренко и др., 2004; http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_05/kurily/volc_1-4.html).

Расположение вулканических массивов не случайно и многие исследователи подчеркивали приуроченность вулканических центров

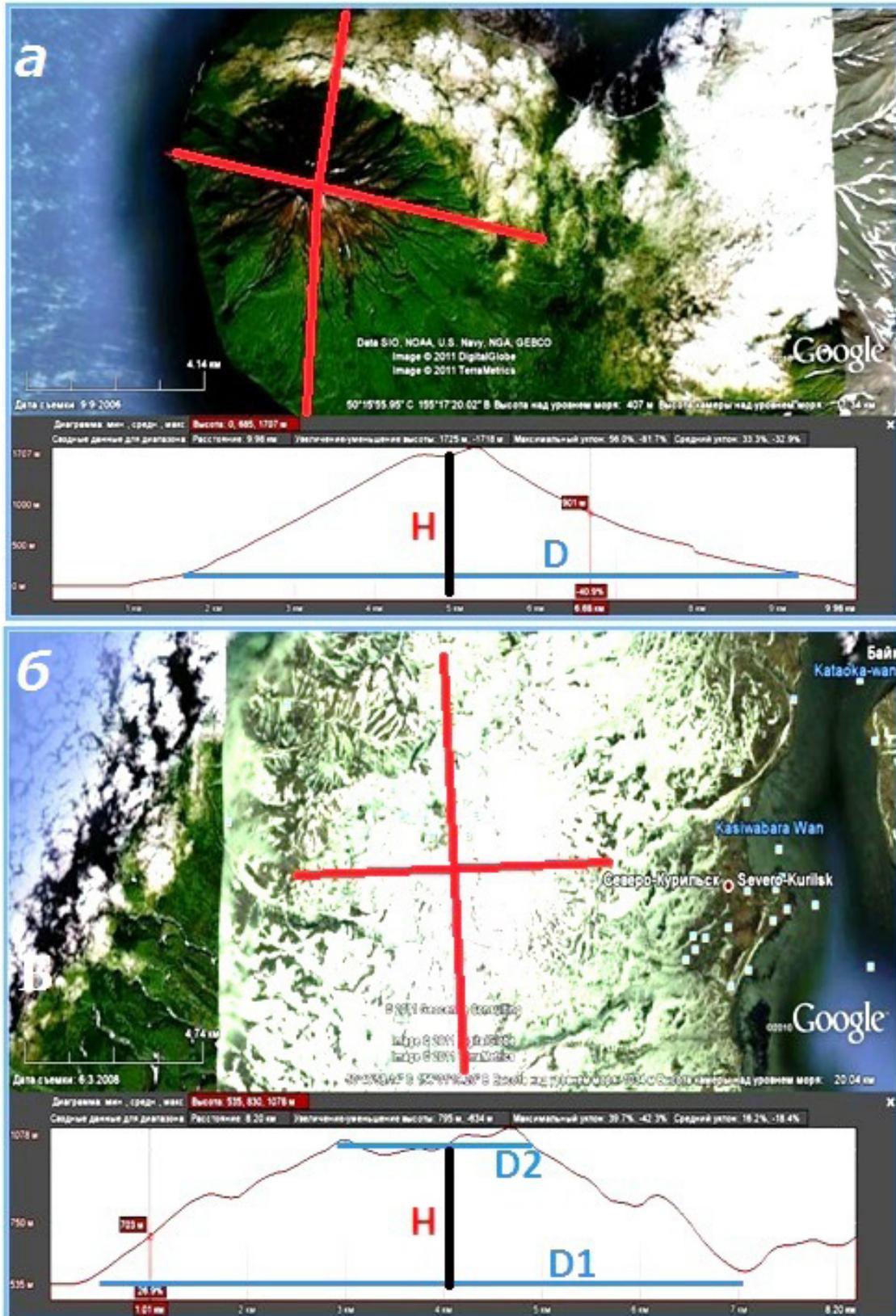


Рис. 3. Пример построения профилей в программе Google:

a – пример вулкан Пик Фусса (конус) $V = \frac{(\frac{D}{2})^2 \pi H}{3}$; *b* – пример вулкан Эбеко (усеченный конус)

$V = \frac{\pi(\frac{D1}{2})^2 + (\frac{D1}{2})(\frac{D2}{2}) + (\frac{D2}{2})^2}{3}$. Параметры вычислений показаны на профилях.

имеющих форму сомма-везувий или сложную структуру постройки использовалась формула усеченного конуса.

ПОПЕРЕЧНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНИЗМА ПАРАМУШИРСКОЙ ГРУППЫ КОД

Активность вулканов и объемы продуктов извержений

Объем вулканических построек является важным показателем особенностей пространственного проявления магматизма и условий магмообразования.

Наименьший объем вулканического материала приурочен к «линейно-гнездовым вулканам» хребта Вернадского и отдельным вулканическим центрам хребта Карпинского, в среднем он варьирует от 3 до 8 км³. Наибольший объем вулканизма приурочен к вулканическому массиву Алаид, он составляет более 110 км³ для вулкана Алаид и 40 км³ для подводного вулкана Григорьева (Блох и др., 2006), соответственно.

Сопоставление полученных данных и ранее опубликованного материала (Добрецов, 2010; Курильские..., 2004; http://geoportals.kscnet.ru/submarine_volcanoes/) позволило предположить, что на пересечении выделенных в этом районе разломов возможно, проявлен наибольший объем вулканизма. Например, вулкан Пик Фусса, находящийся на пересечении трех разломов имеет объем более чем в три раза превышающий объем вулкана Ширинки, возможно, находящегося на продолжении регионального разлома. Также объем вулканической постройки вулкана Чикурачки, находящегося на пересечении разломов, превышает более чем в два раза объемы вулкана Татарина.

Можно предположить, что региональное напряжение, то есть наличие региональных разломов, разноориентированных относительно глубоководного желоба, контролирует характер и объем вулканизма в исследуемом районе.

Ранее указывалось, что в распределении вулканических центров в Курильской дуге, в том числе и в Парамуширской группе наблюдается поперечная зональность с максимумом во фронтальной зоне (Авдейко и др. 1992). Не менее важной характеристикой является распределение объема вулканического материала от фронта к тылу. На рис. 4 показано, что существуют несколько зон проявления вулканизма, которые, по-видимому, соответствуют нескольким зонам магмообразования. Первая приурочена к фронтальной части дуги и соответствует глубине 120-160 км до слэба и характеризуется относительно небольшим объемом вулканических построек. Вторая зона соответствует глубине

200-230 км до слэба. Большинство вулканов приурочено как раз к этой зоне магмообразования, объем вулканического материала колеблется от 5 до 50 км³. Третья зона — 250-260 км до слэба, максимальный объем вулканического материала более 110 км³ характерен для этой зоны.

Анализ активности вулканов в историческое время (рис. 2) также относительно подтверждает увеличение объемов вулканических построек от фронта к тылу. Например, в период визуальных наблюдений вулкан тыловой зоны Алаид извергался неоднократно (Гушенко, 1979; Федорченко и др., 1979; Simkin, Sieber, 1994; <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcanoes/Alaid/>). Как правило, после эксплозивной фазы в тыловой зоне, наступала эффузивная, с большим количеством извергнутого материала, в то время как в фронтальной зоне (рис. 2) только несколько вулканов проявляли слабую эксплозивную активность, что характерно без эффузивной фазы (Белоусов и др., 2003). Анализ временной активности вулканов позволил сделать вывод о том, что большинство вулканов Парамуширской группы КОД являются активными, действующими аппаратами. Для каждого вулканического центра независимо от структурного положения характерна своя периодичность извержений. Некоторые из вулканов извергаются раз, два в сто лет (вулканы Карпинского, Пик Фусса), другие же, например вулкан Эбеко, наоборот наряду с фумарольной активностью проявляют и эксплозивную, фреатомагматическую деятельность (рис. 2). Одним из самых активных вулканов можно считать вулкан Алаид, поскольку за весь период наблюдений неоднократно проявлялась сильная эксплозивная деятельность (Гушенко, 1979; Simkin, Sieber, 1994), с извержением большого количества пирокластического материала и излияний лав (Авдейко и др., 1974; Авдейко и др., 1977; Федотов и др., 1981; Федотов и др., 1982).

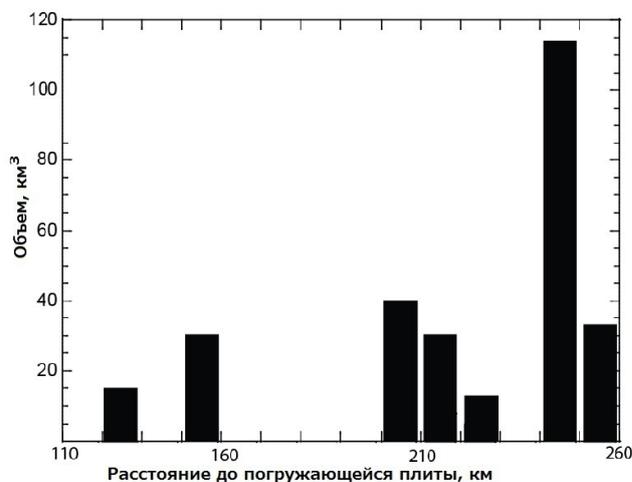


Рис. 4. График зависимости объемов вулканического материала от погружающейся плиты.

Тип извержения характеризовался от стромболианского до субплинианского (Абдурахманов и др., 1978; Федотов и др., 1982; <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcano.es/>). Вулкан Чикурачки, также характеризуется высокой активностью, однако в большинстве случаев извержения имеют стромболианский или вулканский тип извержения.

Важно отметить, возможную, временную приуроченность некоторых извержений вулканов, находящихся на единой разломной зоне (Федоченко и др., 1989). Например, одновременные сильные извержения вулканов Алаид и Эбеко в 1793, 1934 г.

Одной из наиболее существенных характеристик современной вулканической активности является то, что во фронтальной зоне преобладают эксплозивные извержения, поставляющие относительно кислую пирокластику, тогда как для тыловой зоны, наряду с эксплозиями, характерны и лавовые излияния базальтов и андезибазальтов (рис. 2).

Особенности вещественного состава

В данном разделе представлены результаты петрографического изучения пород и первые данные по распределению петрогенных элементов.

Вулканиды фронтальной зоны характеризуются оливин-клинопироксен-ортопироксе-

новым парагенезисом фенокристов, однако в некоторых породах, например вулкана Ломоносова, в микровкраплениях основной массы встречаются в значительных количествах кварц и оливин, что говорит о неравновесной кристаллизации магмы (рис. 5, таблица).

Вулканы группы Эбеко промежуточной зоны, в целом более основные, по сравнению с другими вулканами как тыловой, так и фронтальной зон. Чаще всего породы характеризуются оливин-клинопироксен-содержащими ортопироксеновыми андезибазальтами, с микрокристаллами оливина и пироксена в основной массе (рис. 5, таблица).

Вулканы Пик Фусса и Ширинки представлены пироксен-оливин-роговообманковыми андезибазальтами. Это единственные наземные вулканы в изучаемом районе, содержащие роговую обманку в виде фенокристов (рис. 5, таблица). Для основной массы типично наличие микровкраплеников пироксена и оливина.

Интересен состав вулканов Алаид и Григорьева тыловой зоны. Несмотря на то, что вулканический массив находится в тылу островной дуги, по нашему мнению на вулканах преобладают пироксеновые андезибазальты, содержащие в основной массе незначительное количество пироксена и оливина. Однако, по данным (Авдейко



Рис. 5. Схема распространения фенокристаллов в вулканидах в зависимости от положения. Точками обозначены наземные и подводные вулканы.

и др., 1992) большинство образцов с массива Алаид имеют более основной состав.

В настоящей работе были проанализированы породы всех извержений вулкана Алаид, произошедших в XX в. Извержения 1933-1934 гг. характеризуются оливин-содержащими пироксеновыми базальтами, с микрокристаллами пироксена в основной массе ссылок. Однако, в извержениях 1972, 1981 гг. в ксенолитах были найдено и проанализировано (Антонов, 2006; Федорченко и др., 1989) большое количество образцов более кислого состава (~ 63-72% SiO₂).

Следовательно, проведенный анализ имеющего материала по вулканам Парамуширской группы КОД позволяет предположить наличие минеральной зональности от фронта к тылу островной дуги: во фронтальной зоне преобладают пироксеновые андезибазальты, в тылу – роговообманковые андезиты и пироксеновые андезибазальты.

Исключения составляют: вулкан 1.3, одна часть образцов которого представлена пироксен-оливиновыми андезибазальтами, вторая – ро-

говообманковыми андезидацитами. (Авдейко и др., 1992; http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_06/06-3-A-08-326/).

Вулкан 1.4 также имеет две разновидности пород: пироксен-содержащий андезибазальты и роговообманковые андезиты (Бондаренко и др., 1994; http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_05/kurily/).

Особенности геохимического состава так же подтверждают наличие различных тектонических зон магмообразования. Для фронтальной зоны характерны низкокальциевые и умереннокальциевые андезиты. Низкие содержания несовместимых элементов, таких как Rb, Ba соответствуют породам фронтальной зоны. Петрохимические тренды с увеличением содержаний SiO₂, Na₂O, но уменьшением CaO и MgO, свидетельствуют о кристаллизационной дифференциации, как о главном процессе формирования вулканических серии (рис. 6). Минералогический состав пород также подтверждает этот вывод: кристаллизация, плагиоклаза, например, фиксируется на диаграммах Харкера уменьшением содержания

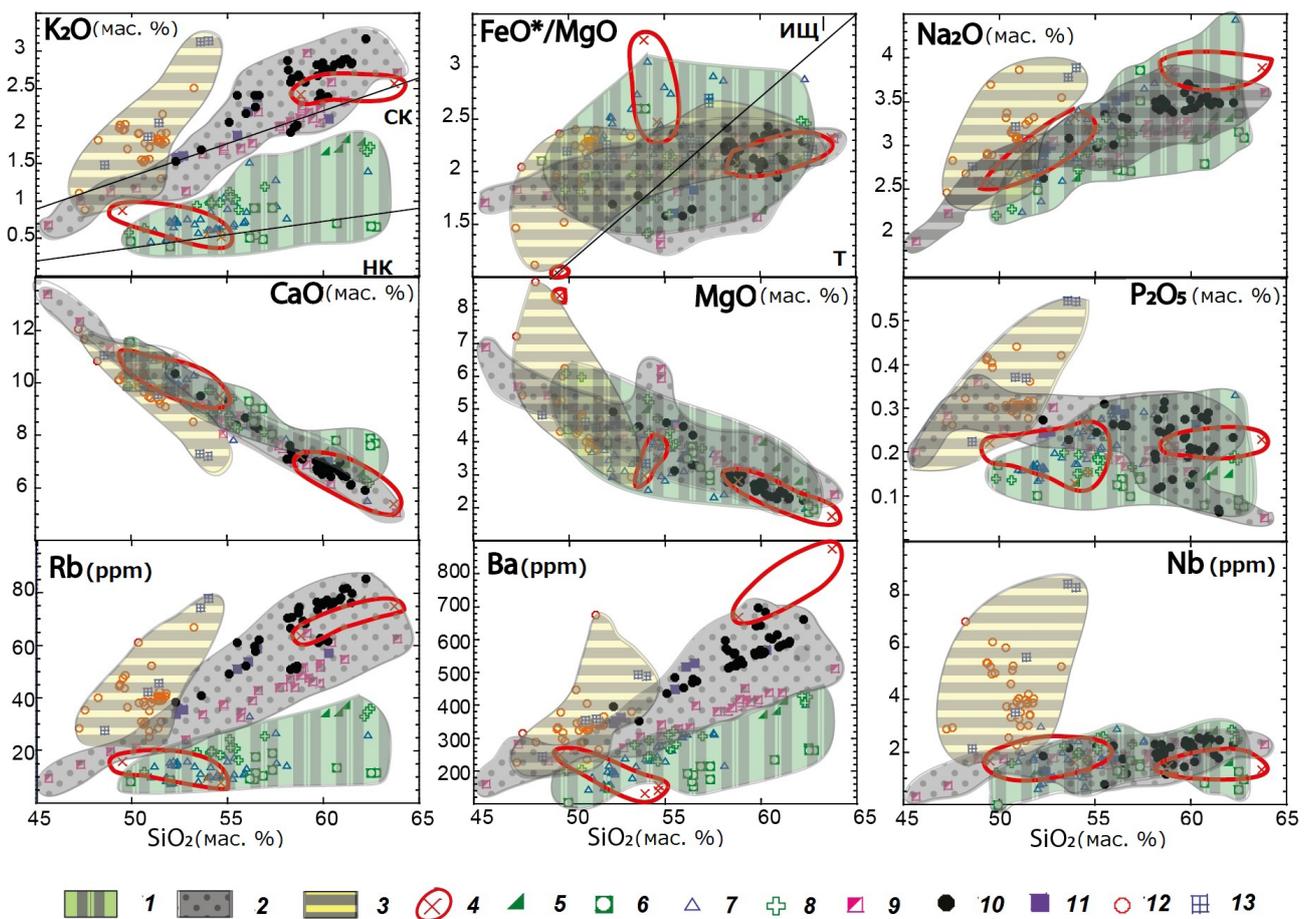


Рис. 6. Вариационные диаграммы Харкера: 1 – Фронтальная зона; 2 – Промежуточная зона; 3 – Тыловая зона; 4 – подводный вулкан 1.4; 5 – вулкан Ломоносова, 6 – подводный вулкан 1.3; 7 – вулкан Чикурачки; 8 – вулкан Татаринова; 9 – вулкан Эбеко; 10 – вулкан Пик Фусса; 11 – вулкан Ширинки; 12 – вулкан Алаид; 13 – подводный вулкан Григорьева.

анортитовой компоненты при росте кремнекислотности.

Вулканы промежуточной зоны характеризуются умереннокалиевыми и высококалиевыми породами что хорошо видно на примере вулкана Эбеко (рис. 6).

Тыловая зона (вулканы Алаид и Григорьева, > 220 км от погружающейся плиты) представлена высококалиевыми андезибазальтами с высокими содержаниями Rb, Ba, MgO. Интересной особенностью является повышенное содержание Nb (2-8 ppm), в то время как для вулканитов из других зон характерны более низкие значения концентрации этого элемента (2-3 ppm) (рис. 7).

Результаты исследований показывают, что все вулканы Парамуширской группы КОД имеют типично субдукционные геохимические метки с Ta-Nb минимумами, закономерным обогащением LILE, LREE и деплетированием HREE, HFSE на спайдердиаграммах нормализованных к MORB (Kuvikas et al., 2011). Типичной для островодужных серий является также поперечная зональность с увеличением содержаний K_2O , Al_2O_3 , Na_2O , TiO_2 и уменьшением CaO, FeO^* от фронта к тылу (рис. 8).

В дальнейшем планируется провести детальное геохимическое исследование имеющихся образцов на редкие элементы и изотопы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Парамуширской группе КОД впервые был проведен детальный анализ пространственно-временных особенностей проявления вулканической активности. На основе современных высокоточных аналитических исследований были изучены особенности минерального и химических составов.

Установлено, что вулканическая активность фронтальной зоны является преимущественно эксплозивной, поставляя материал среднего и кислого составов, а в тыловой зоне, наряду с эксплозивными, характерны лавовые излияния базальтового и андезибазальтового составов. Такой характер извержений и поставляемых ими продуктов сохраняется, по крайней мере, на протяжении плиоцен-четвертичного времени.

В пространственном проявлении объемов продуктов извержений наблюдается следующая закономерность: первая зона магмогенезиса наблюдается на глубине 120-150 км до слэба, что соответствует вулканическому фронту, вторая зона – 200-250 км, на поверхности проявляется в наличии промежуточной вулканической зоны, третья зона – 250-260 км, что соответствует тыловой зоне с большим объемом извергнутого материала.

Представительная коллекция образцов позволила провести минералогическое и геохи-

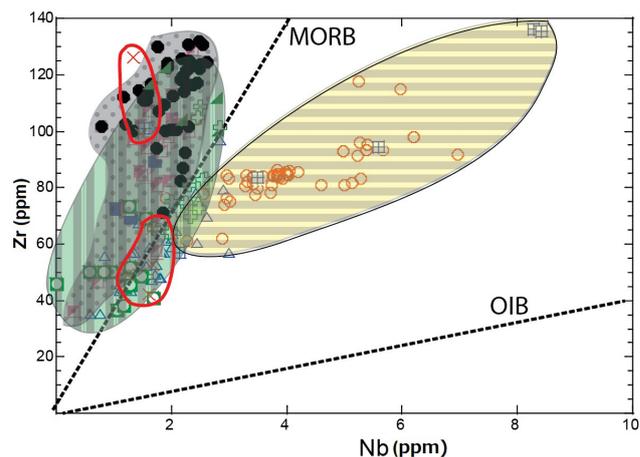


Рис. 7. Zr/Nb отношения для Парамуширской группы КОД. Условные обозначения см. на рис. 6.

мическое картирование региона, которое также позволяет делать выводы о местоположении различных зон магмообразования. Каждая из таких зон имеет целый ряд специфических характеристик.

Выводы по геохимической характеристике вулканических зон носят предварительный характер. Анализ субдукционных и несубдукционных факторов магмообразования и геохимической специфики островодужных пород будут рассмотрены в следующей статье на основании новых высокоточных изотопных и геохимических ISP MS анализов.

Автор благодарит научного руководителя – профессора Г.П. Авдейко, за руководство работой, а также за помощь и содействие на всем протяжении подготовки рукописи к печати. Также хотелось бы поблагодарить М. Нагакава – профессора университета Хоккайдо за ценные рекомендации и возможность проведения аналитических и экспериментальных работ. Автор признательна В.А. Рашидову за предоставленные для анализа образцы вулкана Алаид и за редактирование публикации. Автор выражает благодарность Ю.А. Мартынову и неизвестному рецензенту за редактирование рукописи и ценные рекомендации к публикации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ДВО РАН 12-III-B-08-171, РФФИ 12-05-31362 и стипендии японского правительства в 2010-2012 гг. (Japanese government (Monbukagakusho: MEXT) scholarship for research students).

Список литературы

Абдурахманов А.И., Пискунов Б.Н., Смирнов И.Г., Федорченко В.И. Вулкан Алаид (Курильские острова) // Восточно-Азиатские островные системы (Тектоника и вулканизм). Южно-Сахалинск, 1978. С. 85-107.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРОЯВЛЕНИЯ

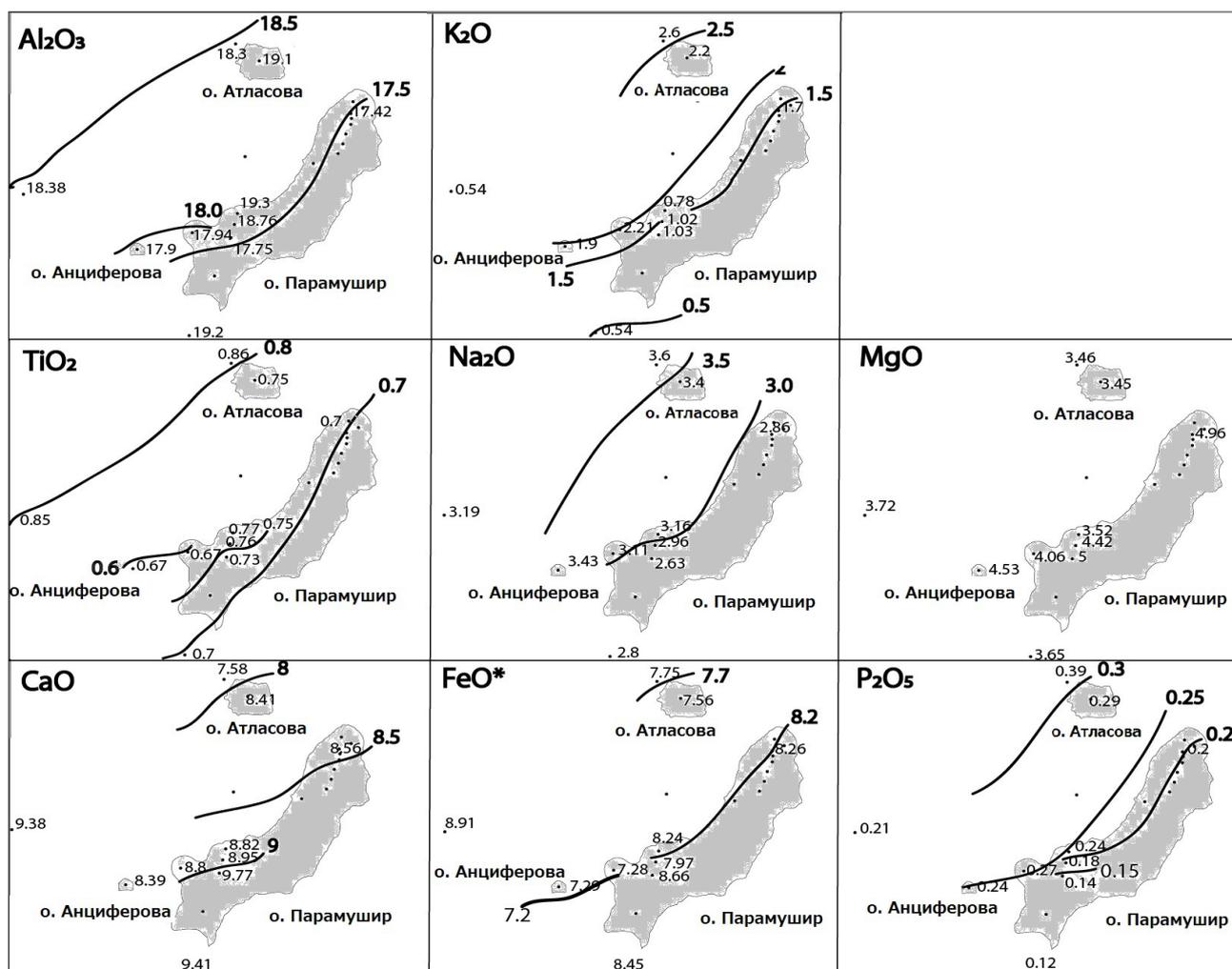


Рис. 8. Пространственное геохимическое изменения составов вулканитов. (SiO_2 нормализовано на 55%).

Авдейко Г.П., Токарев П.И., Меняйлов И.А. и др. Извержение побочного прорыва Олимпийского на вулкане Алаид в 1972 г. // Вулканизм островных дуг. М.: Наука, 1977. С. 55-64.

Авдейко Г.П., Хренов А.П., Флеров Г.Б. и др. Извержение вулкана Алаид в 1972 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1974. № 50. С. 64-80.

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

Авдейко Г.П., Попруженко С.В., Палуева А.А. Тектоническое развитие и вулканотектоническое районирование Курило-Камчатской островодужной системы // Геотектоника. 2002. № 4. С. 64-80.

Авдейко Г.П., Савельев Д.П., Попруженко С.В., Палуева А.А. Принцип актуализма: критерии для палеотектонических реконструкций на примере Курило-Камчатского региона // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2003. № 1. С. 32 – 60.

Антонов А.Ю. Вещественная зональность четвертичного вулканизма Курильской островной

дуги и новые петрологические следствия // Литосфера. 2006. № 1. С. 22-44.

Белоусов А.Б., Белоусова М.Г., Гришин С.Ю., Крестов П.В. Исторические извержения в Чикурачики (о. Парамушир, Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 3. С. 15-34.

Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Подводный вулкан Григорьева (Курильская Островная Дуга) // Вулканология и сейсмология. 2006а. № 5. С. 1-10.

Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Вулканический массив Алаид (Курильская островная дуга) // Материалы международного симпозиума «Проблемы эксплозивного вулканизма» 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, 2006б. С. 135-143.

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.
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Геоморфология подводных гор Курильской Островной Дуги // Отечественная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее. Материалы XXX Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Санкт-Петербург. 15-20 сентября 2008. С. 279-280.
- Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. Наука. М., 1967. С. 288.
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Вулканический массив Алаид (Курильская Островная Дуга) // Материалы международного симпозиума «Проблемы современного вулканизма». 2006а. №. 135-143.
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Подводный вулкан Григорьева (Курильская Островная Дуга) // Вулканология и Сейсмология. 2006б. № 5. с. 1-10.
- Гущенко И.И.* Извержения вулканов мира. Каталог. М.: Наука, 1979. 475 с.
- Добрецов Н.Л.* Петрологические, геохимические и геодинамические особенности субдукционного магматизма // Петрология. 2010. Т. 18, № 1. С. 88-110.
- Дриль С.И., Мартынов Ю.А., Рычагов С.Н. и др.* Происхождение четвертичных вулканитов и геохимия гидротермально измененных пород хребта Вернадского (о-в Парамушир) // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного и древнего вулканизма (материалы Международного полевого Курило-Камчатского семинара, 16 июля – 6 августа 2005 г. Петропавловск-Камчатский: «ОТТИСК», 2005. С. 247-256.
- Курильские острова (природа, геология, землетрясения, вулканы, история, экономика). Южно-Сахалинск. Сахалинское книжное издательство, 2004. 227 с.
- Мартынов Ю.А., Рыбина А.В., Дриль С.И., Мартынов А.Ю.* Зоны аномального вулканизма Курильских островов, остров Парамушир // Вестник ДВО РАН. 2009. № 4. С. 17-23.
- Опыт комплексного исследования района и новейшего вулканизма (на примере хр. Вернадского, о. Парамушир) // Тр. СахКНИИ. 1966. Вып. 16. с. 206.
- Пискунов Б.Н., Абдурахминов А.И., Ким Чун Ун.* Соотношение состав-глубина для вулканов Курильской островной дуги и ее петрологическое значение // Вулканология и сейсмология. 1979. № 4. С. 57-67.
- Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И.* Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. С. 237.
- Федотов С.А., Иванов Б.В., Авдейко Г.П. и др.* Извержение вулкана Алаид в 1981 г. // Вулканология и сейсмология. 1981. № 5. С. 82-87.
- Федотов С.А., Иванов Б.В., Флеров Г.Б. и др.* Изучение извержения вулкана Алаид (Курильские острова) в 1981 г. // Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 9-28.
- Флеров Г.Б., Иванов Б.В., Андреев В.Н. и др.* Вещественный состав продуктов извержения вулкана Алаид в 1981 г. // Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 29-43.
- Avdeiko G.P., Palueva A.A., Khleborodova O.A.* Geodynamic Conditions of Volcanism and Magma Formation in the Kurile-Kamchatka Island-Arc System // Petrologiya. 2006. V. 14. № 3. P. 248-265.
- Baranov B.V., Werner R., Hoernle K.A. et al.* Evidence for compressionally induced high subsidence rates in the Kurile Basin (Okhotsk Sea) // Tectonophysics. 2002. V. 350. P. 63-97.
- Bindeman I.N., J.C. Bailey.* Trace elements in Anortite Megacrysts from the Kurile Island Arc: a window to Across-Arc Geochemical Variations in Magma compositions // Earth Planetary Science Letter. 1999. V. 169. P. 209-226.
- Ishikawa T., Tera F.* Source, composition and distribution of the Fluid in the Kuril Mantle Wedge: Constrain from Across-Arc Variations of B/Nb and B Isotopes // Earth Planetary Science Letter. 1997. V. 152. P. 113-122.
- Hasegawa T., Nakagawa M., Yoshimoto M. et al.* Tephrostratigraphy and petrological study of Chikurachki and Fuss volcanoes, western Paramushir Island, northern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activity and temporal change of magma system // Quaternary International. 2011. V. 246. P. 278-297.
- Martynov Y.A., Khanchuk A.I., Kimura J.I. et al.* Geochemistry and Petrogenesis of Volcanic Rocks in the Kuril Island Arc // Petrologiya. 2010. V. 18. № 5. P. 512-535.
- Kuvikas O.V., Nakagawa M., Avdeiko G.P., Rashidov V.A.* Spatial compositional variations in Quaternary volcanic from the Northern Kuril Islands, Russia. 7th Biannual workshop on JKASP 2011: Mitigating risk through international volcano, earthquake and tsunami science. August 25-30, 2011. Abstracts. P. 284-285.
- Simkin T., Siebert L.* Volcanoes of the World. Geosciences Press, Inc. Tusson. Arizona, 1994. 349 p.
- Tanakadate H.* Morphological development of the volcanic islet Taketomi in the Kuriles // Proc. Jap. Acad. 1934. V. 10. № 8. P. 494-497.
- Volynets O.* Geochemical Types, Petrology and Genesis of Late Cenozoic volcanic rocks from Kurile-Kamchatka Island-Arc System // International Geology Review. 1991. V. 36. P. 313-406.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРОЯВЛЕНИЯ
**PECULARITIES OF THE SPATIAL VARIATIONS FROM PARAMUSHIR
VOLCANIC GROUP, KURILE ISLAND ARC**

O.V. Bergal-Kuvikas

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006; e-mail: kuvikas@mail.ru

This article represents a detail analysis of the spatial variations in volcanism from the Northern sector of the Kurile Island Arc. Investigations of the volcano time activity and comparison of the volume of erupted material made it possible to characterize features of the volcanism on the front and rear zones in dependence of the slab depth and location of faults. Data from volcanic location, as well as microscopic and geochemical analysis of its products allowed identifying geologic and petrologic peculiarities of volcanic formations in three main zones: the frontal, the intermediate, and rear zones.

Keywords: Kurile Island Arc, geochemical peculiarities, spatial variation of volcanism.