

УДК 552.3(571.5)

Геология и состав непрерывных трахибазальт-риолитовых серий Минусинского прогиба Алтае-Саянской складчатой области

А.А. Воронцов¹, О.Ю. Перфилова², Н.Н. Крук³, А.С. Тарасюк¹¹ Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия, voront@igc.irk.ru² Сибирский Федеральный университет, Красноярск, Россия³ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия**Ключевые слова:** ордовик, девон, вулканиты, фракционирование, контаминация.

Геологическая характеристика

В северной части Алтае-Саянской складчатой области непрерывные вулканические серии распространены в пределах каледонской континентальной окраины Сибирского палеоконтинента, которая по данным (Берзин, Кунгурцев, 1996), начиная с середины ордовика, характеризовалась пассивным режимом с накоплениями карбонатно-терригенных шельфовых осадков. Новые геологические и геохимические данные показали, что этот режим сменился в раннем девоне обстановкой активной окраины (Воронцов и др., 2015). Однако в обоих случаях на территории, удалённой от границы океан-континент во внутриконтинентальную часть на расстояние не менее 500 км и ограниченной горными сооружениями Восточных, Западных Саян и Кузнецкого Алатау, протекала однотипная магматическая деятельность. В Минусинском прогибе и его горном обрамлении непрерывные вулканические серии формировались в течение двух этапов, выделяемых на основе результатов геохронологических Rb-Sr, K-Ar, Ar-Ar и U-Pb исследований, опубликованных за последние 20 лет: 480-420 млн лет (ордовик – ранний силур) и 410-390 млн лет (ранний-средний девон). Вулканиты этих этапов представлены породам преимущественно умеренно-щелочного ряда с вариациями SiO₂ от 47 до 77 мас. %. Ордовик-раннесилурийские вулканиты участвуют в строении вулcano-плутонических ареалов горного обрамления Минусинского прогиба и редко слагают небольшие палеовулканы в выступах фундамента внутри самого прогиба. Они пространственно совмещены с крупными сиенит-граносиенит-гранитными массивами. Типичным примером такого совмещения является Качинско-Шумихинский ареал. В

отличие от них, ранне-среднедевонские вулканические серии занимают всю площадь Минусинского прогиба, вскрываясь из-под осадочного чехла как по его периферии, так и в антиклинальных складках во внутренних его сегментах. “Предельные” оценки показывают, что объем ордовик-раннесилурийских вулканитов как минимум на 2 порядка меньше объема ранне-среднедевонских вулканитов (не менее 20 000 км³).

Состав пород

Мы объединили породы семейств в три подгруппы, сравнили их между собой и с породами некоторых типовых геодинамических обстановок.

1 подгруппа (трахибазальты и трахиандезиты, SiO₂ 47-55 мас. %). Нормированные на примитивную мантию формы мультиэлементных спектров всех вулканитов этой подгруппы вне зависимости от возраста близки к форме спектра базальтов островных дуг (IAB) с типичными для него минимумами по Th, Nb, Ta, Ti и максимумами по Ba и Sr. Однако абсолютные значения всех несовместимых элементов превышают их содержания в IAB. Наиболее отчетливо такое превышение заметно для крупноионных литофильных (LILE), а также редкоземельных (REE) элементов, содержания которых достигают величин, наблюдаемых во внутриплитовых базальтах (OIB). Особенностью позднеордовикских базальтоидов является высокая степень фракционирования REE, главным образом за счет обогащения LREE ((La/Yb)_n изменяется от 11,6 до 32,8). В раннедевонских вулканитах (La/Yb)_n варьирует от 7,6 до 13,0. При этом во всех породах ордовик-раннесилурийской серии в отличие от ранне-среднедевонской наблюдается прямая корреляция между TiO₂ и величиной La/Yb.

2 подгруппа (трахиандезиты, SiO₂ 55-63 мас. %). В этих породах сохраняется высокая степень фракционирования REE. (La/Yb)_n изменяется от 10,2 до 23,8 в трахиандезитах ордовика-раннего силура и от 9,6 до 14,1 в трахиандезитах ранне-среднего девона. В породах обеих возрастных групп сохраняются Th, Nb, Ta минимумы, Ba максимум и возникает дисперсия по Sr. В них усиливается Ti минимум, но увеличивается содержание Rb. Кроме того, появляется очень слабая отрицательная европиевая аномалия.

3 подгруппа (трахиты, трахидациты, трахириодациты, трахириолиты и риолиты, SiO₂ 63-77 мас. %). В этой подгруппе разновозрастные вулканиты различаются по геохимическим характеристикам. Так, в ордовик-раннесилурийских вулканитах с увеличением SiO₂ возрастают концентрации большинства

несовместимых элементов, за исключением P, Ti, Ba (уменьшается до 57 г/т), Sr (уменьшается до 7 г/т) и Eu, что указывает на фракционирование апатита, титаномагнетита и полевых шпатов. В этих породах избирательное обеднение Nb и Ta проявлено слабее, чем в породах основного и среднего составов, но при этом уменьшается степень фракционирования REE $((La/Yb)_n)$ изменяется от 7,4 до 18,2). В отличие от них в ранне-среднедевонских вулканитах выделяются два типа пород с разным распределением редких элементов. Первый тип близок по своему составу к ордовик-раннесилурийским вулканитам, отличаясь от них отсутствием пород с аномально низкими содержаниями Ba и Sr, менее ярко выраженным Eu минимумом, узким диапазоном вариаций суммы REE и отношения лёгких редких земель к тяжёлым $((La/Yb)_n)$ изменяется от 6,6 до 10,5). В другом типе, представленном риолитами ($74,0 < SiO_2 < 76,6$, мас. %) происходит падение концентраций HSFЕ, REE, Y, что нарушает тенденцию накопления некогерентных элементов при фракционировании. Их составы близки к составу верхнекорового вещества, а также островодужных и аккреционно-коллизийных гранитов Центрально-Азиатского складчатого пояса.

В координатах $\epsilon Sr(T) - \epsilon Nd(T)$ точки составов разновозрастных пород сконцентрированы в двух изолированных друг от друга полях. Одно из них характеризует субстраты, из которых выплавлялись позднеордовикские ($\epsilon Nd(476) 0,4 - 1,0$ и $\epsilon Sr(476) 11,3 - 12,8$), другое - раннедевонские ($\epsilon Nd(391) 3,5 - 4,7$ и $\epsilon Sr(391) 5,7 - 7,9$) базальтоиды. Оба поля фигуративных точек составов базальтоидов смещены от линии мантийной корреляции в сторону субстратов обогащенных радиогенным стронцием. Подобное отклонение указывает на ассимиляцию расплавами с параметрами умеренно-деплетированной мантии с промежуточными характеристиками между PREMA и ЕМII дополнительного компонента с высоким содержанием Sr, повышенной величиной $^{87}Sr/^{86}Sr$ и низкими содержаниями REE. Вклад протолитов типа PREMA в магнообразование выше для ранне-среднедевонского этапа.

Механизмы образования вулканитов

Обогащение SiO_2 сопровождается изменениями других породообразующих окислов, связанным с фракционированием оливина, авгита, плагиоклаза в низкотитанистых

магмах и оливина, плагиоклаза, титанавгита, титаномагнетита и апатита в умереннотитанистых магмах. В обеих сериях фракционирование реализуется вплоть до появления трахириодацитовых расплавов с содержанием SiO_2 около 69 мас. %. При этом тренды фракционирования искажаются вследствие широкого разброса и снижения содержаний несовместимых элементов пропорционально росту SiO_2 . В каждой серии эволюция составов проявляется по-разному. В ордовик-раннесилурийской серии искажение тренда начинается уже на составах трахибазальтов, в то время как для ранне-среднедевонской только при достижении 65 мас. % SiO_2 . Эти характеристики объяснимы появлением в магматической системе анатектических кислых магм, которые смешивались с фракционированными расплавами, образуя промежуточные по геохимическим характеристикам продукты. Представления о смешении мантийных базальтовых и коровых кислых магм подтверждаются нарушением прямой зональности плагиоклазов и существованием кристаллов щелочного полевого шпата оплавленной формы в трахитах и трахидацитах. В максимальной степени приближены к составу коровых выплавов наиболее кремнекислые (риолитовые) магмы раннего-среднего девона. Для ордовик-раннесилурийской серии намечается более широкий диапазон вариантов коровой контаминации. Геохимические особенности этих процессов специфичны для каждого возрастного этапа и контролируются составом источников материнских расплавов и геодинамическими условиями формирования непрерывных серий.

Исследование проведено в рамках государственного задания по Проекту IX.129.1.5. (№ 0350-2016-0030) и при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-05-00181).

Список литературы

- Берзин, Н.А., Кунгурцев, Л.В. (1996) Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области. Геология и геофизика. Т. 37. № 1. С. 63–81.
- Воронцов, А.А., Ярмолук, В.В., Федосеев, Г.С., и др. (2015) Дифференцированная вулканическая ассоциация Минусинского прогиба: механизмы образования и источники расплавов (на примере Батеневского поднятия). Петрология. Т. 23. № 4. С. 386–409. DOI:10.7868/S0869590315040068