

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 1981-1987 гг. было проведено шесть рейсов НИС "Вулканолог", направленных на изучение подводных вулканов Курильской островной дуги. В этих рейсах выполнено около 40 тыс. км профильных геофизических исследований (эхолотный промер, сейсмоакустическое профилирование, гидромагнитная съемка), проведено 167 результативных драгировок подводные вулканов. Данные по химическому составу поднятых при драгировании пород (545 полных силикатных анализов, более 450 анализов литофильных редких элементов, 140 анализов РЗЭ и др.) приведены в приложении. Для минеральной характеристики вулканических пород использовано более 2000 микронзондовых определений состава минералов. Изотопы Sr определены в 220, Nd - в 27 и  $^{10}\text{Be}$  - в 14 пробах.

В результате этих исследований был составлен каталог, включающий 97<sup>1</sup> подводных вулканов, по 80 из них получены данные о составе слагающих вулканы пород. Такой каталог составлен впервые в мировой практике. Большинство вулканов четвертичного возраста, причем 30 из них, имеющих прямую намагниченность в соответствии с современным полем, сформировались в последние 0,7 млн лет. Некоторые из этих вулканов несут признаки современной активности. Кроме того, имеется ряд обратно намагниченных подводных вулканов с большой мощностью осадков, перекрывающих их подножия, а в некоторых случаях - перекрывающие даже плоские вершины. Такие вулканы, по-видимому, имеют плиоцен-раннечетвертичный возраст. Во всяком случае, они заведомо возникли ранее 0,7 млн лет, т.е. последней инверсии полюсов.

Для получения сопоставимых петрогеохимических данных наряду с подводными проводилось изучение и субаэральных вулканов. В пределах Курильской островной дуги насчитывается 105 четвертичных субаэральных вулканов, 42 из них активные. Совместный анализ субаэральных и подводных вулканитов позволил выявить структурно-вещественную зональность, проявленную в пространственно-структурном распределении вулканов, химическом и минеральном составе слагающих их пород, изотопных характеристиках лав и составе выносимых ими включений. Важно подчеркнуть, что зональность исключительно ярко проявляется на расстоянии первых десятков километров вкост дуги, а на расстоянии сотен и тысяч километров вдоль дуги выражена значительно слабее.

В пространственном распределении вулканов прослеживается отчетливая поперечная зональность с бимодальным характером изменения количества вулканов и их площадной плотности вкост дуги (см. рис. 6, 7). В направлении от вулканического фронта к тыловой части дуги выделяются четыре зоны: фронтальная, где площадная плотность  $b$  наиболее высокая - около 5 вулканов на 1000 км; промежуточная ( $b = 1$ ); тыловая ( $b = 2-2,6$ ) - второй пик активности вулканов и затухания вулканической активности ( $b = 0,4$ ).

Ширина вулканической дуги и ее зон на северном участке дуги меньше, чем на южном. Это объясняется разным наклоном сейсмофокальной плоскости при пря-

-----  
<sup>1</sup>Новый 97-ой вулкан обнаружен после подготовки монографии 379

мом поддвиге на Северных Курилах и косом - на Южных Курилах. В целом ширина всей дуги и отдельных ее зон обратно коррелируется с углом наклона сейсмофокальной плоскости.

Во фронтальной зоне вдоль дуги вулканы располагаются приблизительно равномерно, тогда как в тыловой зоне имеются протяженные участки без вулканов.

Для пространственного положения вулканов характерно то, что почти все они группируются в цепочки, имеющие косую, реже поперечную или субпараллельную ориентировку относительно общего простирания дуги. Такие цепочки, по-видимому, маркируют магмоподводящие разломы в земной коре. Даже в пределах одной цепочки, пересекающей разные зоны, плотность вулканических центров, как правило, выше во фронтальной и тыловой зонах дуги, чем в промежуточной.

Большинство подводных вулканов (84%) приурочены к тыловой и промежуточной зонам, тогда как во фронтальной зоне резко преобладают субэдральные вулканы (87%). Вулканы фронтальной и тыловой зон резко различаются по петрогеохимическим, минералогическим, изотопным и другим характеристикам. Субэдральные и подводные вулканы, располагающиеся в пределах одной зоны, идентичны.

Лавы тыловой зоны по сравнению с фронтальной обогащены K, Rb, Ba, Sr, U, Th, Ni, Cr, P3Э и др. и обеднены Fe и V. Особенности поперечной и продольной зональности отчетливо проявлены на картах изоконцентраций отдельных элементов и их отношений (см. рис.31-34, 37-45, 47-59 и др.). На диаграмме нормированного распределения гигромагматофильных элементов относительно недеплетированной мантии (см. рис.69) видно, что даже минимальные содержания этих элементов в лавах тыловой зоны выше или примерно равны максимальным содержаниям тех же элементов во фронтальной зоне. Общий же характер распределения гигромагматофильных элементов в лавах как фронтальной, так и тыловой зоны типично островодужный.

Поперечная зональность в распределении P3Э проявлена в том, что на графиках нормированного их распределения относительно хондритов (см. рис.63,64) для лав фронтальной зоны характерен субгоризонтальный (толеитовый) тренд, а для тыловой - наклонный (известково-щелочной). Эти различия более отчетливо проявлены на графике La/Yb-SiO<sub>2</sub> (см. рис.65). Дискретный характер различий подчеркивается тем, что фигуративные точки лав промежуточной зоны на этом графике занимают не промежуточное положение, а располагаются в поле лав либо фронтальной, либо тыловой зоны.

В пространственном распределении изотопов Sr и Nd также видна поперечная и значительно слабее продольная зональность (см. рис.87-89). Низкие маятниковые отношения <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr характерны для тыловой зоны, а более высокие - для фронтальной. На графике соотношения изотопов стронция и неодима (см. рис.90) лавы тыловой зоны располагаются на линии мантийной корреляции, а фронтальной - загрязнены, по-видимому, морской водой и осадками. Об участии осадков в магмообразовании свидетельствуют повышенные концентрации <sup>10</sup>Be - (2,2-7,9) × 10<sup>6</sup> ат./г - в лавах вулканов Курильской островной дуги (см. рис.94).

Отчетливые различия между фронтальной и тыловой зонами также проявлены в минеральных ассоциациях и в составе минералов (см. рис.71). Для андезитов и дацитов фронтальной зоны характерны дупироксеновые ассоциации фенокристов, а для аналогичных лав тыловой зоны характерны амфибол- и биотитсодержащие ассоциации. Базальты тыловых зон содержат среди акцессорных минералов шпинель и циркон, которых нет в лавах фронтальной зоны. Плаггиоклазы тыловой зоны менее кальциевые с более высокими концентрациями Ba, Sr и к и более низкими

Fe, чем плагиоклазы фронтальной зоны. Содержание ортоклазовой молекулы в Плагиоклазах тыловой зоны более чем в 2 раза выше, чем в таковых фронтальной зоны (см. рис.73). Имеются различия в составе оливинов, пироксенов и других минералов. Фенокристаллы клинопироксена в тыловой зоне представлены обычно диопсидом и салитом, тогда как в тыловой зоне – авгитом (см. рис.77).

Различия в ассоциациях и составе минералов отражают различия не только состава расплавов, но и условий кристаллизации. Судя по магнетит-ильменитовому геотермометру, лавы тыловой зоны имеют более высокую фугитивность кислорода (см. рис.85), а широкое проявление водосодержащих мафических минералов указывает на высокое парциальное давление воды в них по сравнению с лавами фронтальной зоны.

Различный характер магм фронтальной и тыловой зон подчеркивается также составом глубинных включений, выносимых лавами. Ультраосновные ксенолиты характерны для лав тыловой зоны, а в лавах фронтальной зоны обычные гранитные включения. Последние в лавах тыловой зоны неизвестны.

Бимодальный характер пространственного распределения вулканов вкост дуги и резкие различия химического и минерального состава лав фронтальной и тыловой зон дуги и состава выносимых ими включений позволили обосновать модель магмообразования, характерной чертой которой являются две области генерации магмы (см. рис.99). Очаги генерации магмы возникают в зоне максимальных температур в пределах мантийного клина под воздействием летучих, отделяющихся от поддвигаемой плиты. Две области генерации магмы, по-видимому, обусловлены двумя этапами отделения летучих компонентов при определенных (P-T)-условиях. Такими этапами могут быть дегидратация амфибола, серпентина и  $7 \text{ A}^\circ$ -клинохлора для фронтальной зоны и дегидратация флогопита и  $14 \text{ A}^\circ$ -клинохлора для тыловой зоны, которые происходят на глубинах примерно 100-130 и 160-190 км. Эти глубины могут несколько варьировать в зависимости от других условий. В этой связи следует подчеркнуть, что при больших углах наклона на участке Северных Курил глубина до сейсмофокальной зоны на 5-10 км ниже, чем на Южных Курилах. Примерно такая же разница глубин сохраняется и для тыловой зоны (см. табл.3). Главными факторами, определяющими различный состав лав фронтальной и тыловой зон являются количество и состав участвующих в плавлении флюидов, состав плавящегося субстрата и степень частичного плавления. Контаминация корой играет подчиненную роль.

Следует подчеркнуть, что в рамках предложенной модели, так же как и в других моделях магмообразования островных дуг, не находит пока удовлетворительного объяснения тот факт, что во фронтальной зоне, где флюидов в очагах магмообразования должно быть больше, чем в тыловой зоне, в лавах и включениях наблюдаются ассоциации безводных минералов, а в тыловой зоне – водосодержащих.

Представления о том, что родоначальные магмы на фронте дуги формируются при повышенных давлениях  $\text{H}_2\text{O}$ , но осушаются в приповерхностных магматических очагах (123), недостаточно обоснованы. Ведь во фронтальной зоне дуги есть и Дифференцированные, и недифференцированные вулканы с безводными мафическими минералами, а в тыловой зоне встречаются дифференцированные вулканы, но с водосодержащими минералами. Разрешение этого противоречия возможно при более детальном геохимическом и изотопном исследовании на дифференцированных и недифференцированных вулканах как во фронтальной, так и в тыловой зоне дуги.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что систематические и однотипные различия в составе вулканических пород фронтальных и тыловых участков практически всех островных дуг свидетельствуют о том, что наличие двух областей генерации магм носит, по-видимому, общий для островных дуг характер. Это обстоятельство следует учитывать в любых моделях магмообразования и петрогенезиса вулканических пород островных дуг.