



ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭФФУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОСТРОВА СУЛАВЕСИ (ИНДОНЕЗИЯ)

Н.В. Дмитриева¹, В.А. Симонов¹, И.Ю. Сафонова^{1,2}, А.В. Котляров¹

¹Новосибирск, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, kotlyarov@igm.nsc.ru

²Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Весь регион Индонезии находится в зоне взаимодействия Тихоокеанской, Евразийской и Индо-Австралийской плит. Многочисленные зоны субдукции и сложные границы плит, а также сосуществование магматических дуг разного происхождения делают выяснение строения и происхождения различных островов и разделяющих их морей и зон субдукции весьма затруднительным. Вулканическая дуга Сулавеси образована над зоной субдукции Северный Сулавеси, что предполагает ее внутриокеаническое происхождение. При этом по геологическим данным остров Сулавеси разделяется на молодую северную часть, известную многочисленными проявлениями современного вулканизма, и южную часть, построенную на более древнем метаморфизованном основании, поэтому происхождение острова Сулавеси также до сих пор является предметом дискуссий. С этой точки зрения детальный анализ состава и условий петрогенезиса современных лав остается актуальным.

В результате исследования коллекции образцов, собранной одним из авторов на северо-востоке острова Сулавеси (Индонезия), были проанализированы на редкие и редкоземельные элементы основные разновидности вулканических пород: базальты, андезиты и дациты. Особый интерес в этом регионе представляет изучение геохимических особенностей эффузивов, входящих в структуры кальдеры Тондоно, и располагающихся по ее периферии более молодых вулканов Сопутан и Локон (рис. 1).

Составы пород эффузивных комплексов северо-востока острова Сулавеси (Индонезия) и содержания в них редких и редкоземельных элементов установлены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск) и в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) соответственно рентгенофлуоресцентным анализом на рентгеновском спектрометре ARL-9900-XP фирмы Thermo Electron Corporation и методом ICP-MS на масс-спектрометре Finnigan Element.

Основой при рассмотрении геохимических особенностей эффузивов острова Сулавеси послужили результаты исследований, а также опубликованные данные по породам кальдеры Тондоно и вулканов Сопутан и Локон [1, 2] в сравнительном анализе с информацией по хорошо известным геологическим объектам, представляющим примитивные (Идзу-Бонинская дуга) и развитые (Курило-Камчатская дуга) островные дуги. К последним относится детально изученный нами вулкан Горелый на Камчатке [3], среди структур которого выделяются (как и на северо-востоке острова Сулавеси) типичные вулканические постройки и более древняя кальдера.

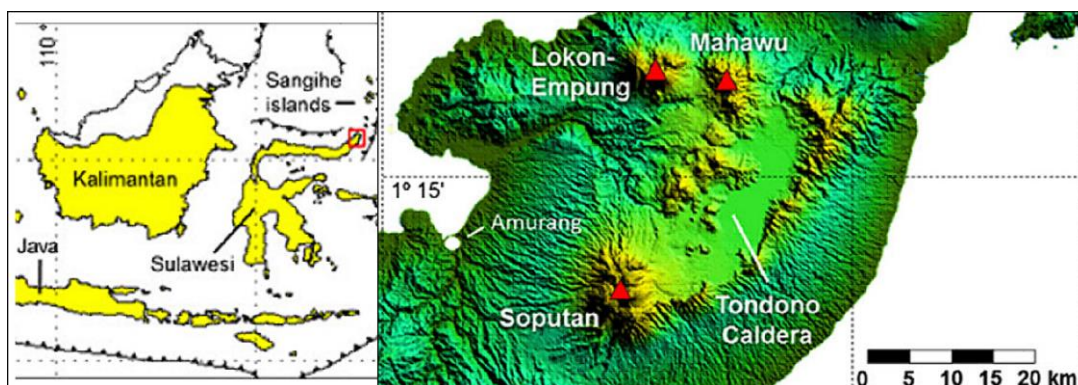


Рис. 1. Расположение кальдеры Тондоно и вулканов Сопутан и Локон на северо-востоке острова Сулавеси [1].

Исследования показали, что по соотношению $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ рассмотренные эффузивы острова Сулавеси соответствуют породам нормальной щелочности, а по количеству K_2O отвечают умеренно-калиевым сериям. Согласно содержанию SiO_2 среди них выделяются базальты, андезиты (преобладают) и дациты. При этом на диаграмме $\text{FeO}^*/\text{MgO} - \text{SiO}_2$ базальты располагаются в поле толеитовых серий, а андезиты показывают известково-щелочные характеристики.

Геохимические особенности эффузивов северо-востока острова Сулавеси хорошо видны на диаграмме $\text{Y} - \text{Zr}$ (рис. 2, А). Здесь рассмотренные породы большей частью совпадают с данными по базальтам и андезитам вулкана Горелый на Камчатке, располагаясь фактически вдоль единого тренда накопления редких элементов в условиях развитой островодужной системы. В то же время часть данных по эффузивам вулканов Сопутан и Локон контактирует с полем бонинитов Идзу-Бонинской островной дуги, свидетельствуя о развитии на определенном этапе формирования структур острова Сулавеси магматических систем примитивных островных дуг.

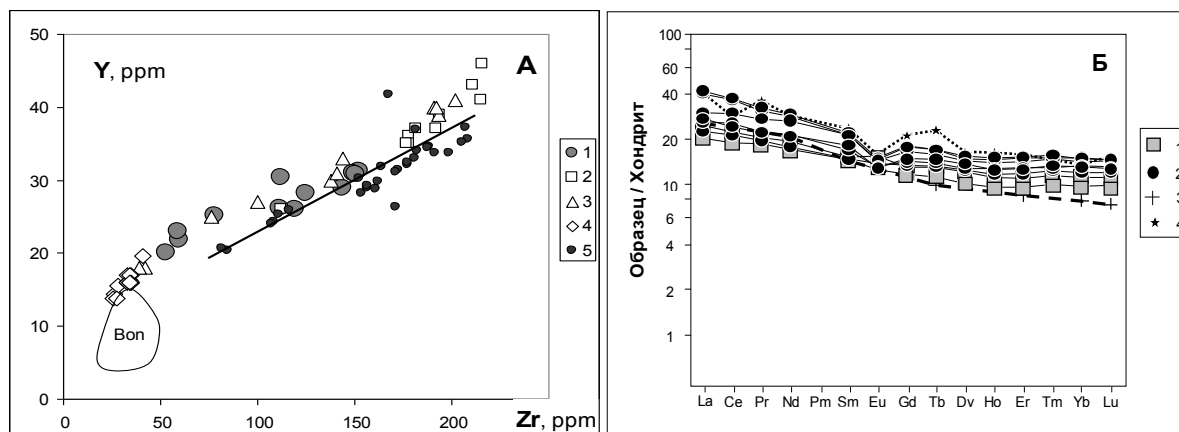


Рис. 2. Диаграмма $\text{Y} - \text{Zr}$ (А) и распределение редкоземельных элементов (Б) для эффузивов острова Сулавеси. А: 1 – оригинальные анализы базальтов и андезитов острова Сулавеси; 2–5 – эффузивы: кальдеры Тондоно (2) [1], вулкана Локон (3) [1], вулкана Сопутан (4) [1, 2], вулкана Горелый на Камчатке (5) [4]. Bon – поле бонинитов Идзу-Бонинской островной дуги [5, 6]. Б: 1, 2 – оригинальные данные по базальтам (1) и андезитам (2) острова Сулавеси; 3, 4 – базальты (3), андезиты (4), известково-щелочной серии [7, 8]. Значения элементов нормированы к хондриту согласно [9].

На диаграмме $\text{Nb}/\text{Y} - \text{Zr}/\text{Y}$ изученные эффузивы приурочены к области без плюмового источника. Большая часть наших данных соответствует базальтам и андезитам вулкана Горелый, располагаясь в поле островодужных пород. При этом точки составов эффузивов вулканов Сопутан и Локон находятся одновременно в полях N-MORB и бонинитов. Поскольку остров Сулавеси образован над современной зоной субдукции, информация о N-MORB характеристиках не имеет основания.

По соотношению $\text{Zr}/\text{Nb} - \text{Nb}/\text{Th}$ все рассмотренные эффузивы острова Сулавеси и вулкана Горелый располагаются в поле островодужных пород. Породы вулканов Сопутан и Локон тяготеют к бонинитам.

Согласно общему характеру распределения редкоземельных элементов базальты и андезиты острова Сулавеси близки между собой и показывают накопление легких компонентов. В целом, спектры изученных эффузивов совпадают (в том числе и европиевые минимумы) с графиками базальтов и андезитов известково-щелочной серии (рис. 2, Б), свидетельствуя о действии магматизма развитой островной дуги при формировании эффузивных комплексов северо-востока острова Сулавеси.

На спайдер-диаграмме спектры базальтов северо-востока острова Сулавеси наиболее близки известково-щелочным базальтам, отличаясь от графика океанических пород типа N-MORB. При этом обращает на себя внимание наличие на спектрах базальтов острова Сулавеси отчетливых минимумов по Nb и Ta, а также максимума по Sr, что отмечалось нами относительно эффузивов вулкана Уксичан на Камчатке и характерно для надсубдукционных серий островных дуг [10].

В целом, анализ геохимических особенностей эффузивов свидетельствует о действии при формировании базальтовых комплексов северо-востока острова Сулавеси магматических систем примитивных островных дуг с бонинитами типа Идзу-Бонинской.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН и при поддержке РНФ, проект №21-77-20022.

- [1] *Pallister K.J.S., Bina K.F.R., McCausland W., Carn S., Haerani N., Griswold J., Keeler R.* Recent explosive eruptions and volcano hazards at Sopotan volcano – a basalt stratovolcano in north Sulawesi, Indonesia // *Bulletin Volcanology*. 2012. V. 74. P. 1581–1609.
- [2] *Kunrat S.L.* Sopotan volcano, Indonesia: petrological systematics of volatiles and magmas and their bearing on explosive eruptions of a basalt volcano. *Dissertations and Theses*. 2017. 119 p.
- [3] *Симонов В.А., Добрецов Н.Л., Котляров А.В., Карманов Н.С., Боровиков А.А.* Особенности кристаллизации минералов на разных стадиях развития магматизма вулкана Горелый (Камчатка): данные по расплавленным и флюидным включениям // *Геология и геофизика*. 2021. Т. 62. № 1. С. 103–133.
- [4] *Gavrilenko M., Ozerov A., Kyle P.R., Carr M.J., Nikulin A., Vidito C., Danyushevsky L.* Abrupt transition from fractional crystallization to magma mixing at Gorely volcano (Kamchatka) after caldera collapse // *Bulletin Volcanology*. 2016. 78. № 47.
- [5] *Arculus R.J., Pearce J.A., Murton B.J., Van der Laan S.R.* Igneous stratigraphy and major-element geochemistry of holes 786a and 786b // *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results*. 1992. V. 125. P. 143–169.
- [6] *Murton B.J., Peate D.W., Arculus R.J., Pearce J.A., Van der Laan S.R.* Trace-element geochemistry of volcanic rocks from site 786: the Izu-Bonin forearc // *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results*. 1992. V. 125. P. 211–235.
- [7] *Кузьмин М.И.* Геохимия магматических пород фанерозойских подвижных поясов. Новосибирск: Наука, 1985. 198 с.
- [8] *Шараськин А.Я.* Тектоника и магматизм окраинных морей в связи с проблемами эволюции коры и мантии. М.: Наука, 1992. 163 с.
- [9] *Boynnton W.V.* Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // *Rare earth element geochemistry*. Oxford: Elsevier. 1984. P. 63–114.
- [10] *Перепелов А.Б.* Кайнозойский вулканизм Камчатки на этапах смены геодинамических обстановок: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Иркутск, 2014. 41 с.