

Литература

Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Котляров А.В., Карманов Н.С. Физико-химические параметры магматизма в районах вулканов Уксичан и Ичинский (Срединный хребет Камчатки) // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. С. 1353–1383.

Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Котляров А.В. и др. Физико-химические параметры кристаллизации расплавов в промежуточных надсубдукционных камерах (на примере вулканов Толбачинский и Ичинский, Камчатка) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. С. 1265–1291.

Озеров А.Ю. Ключевской вулкан: вещество, динамика, модель. М.: ГЕОС, 2019. 306 с.

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 расплавному и флюидным включениям // Геология и геофизика. 2021. Т. 62. С. 103–133.

Belousov A., Belousova M., Edwards B., Volynets A., Melnikov D. Overview of the precursors and dynamics of the 2012–13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2015. Vol. 307. P. 22–37.

Danyushevsky L.V., Plechov P.Yu. Petrolog 3: Integrated software for modeling crystallization processes // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2011. Vol. 12. Q07021.

Kuznetsov P.Y., Koulikov I., Jakovlev A. et al. Structure of volatile conduits beneath Gorely volcano (Kamchatka) revealed by local earthquake tomography // Geoscience. 2017. Vol. 7. Article #111.

Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2010. Vol. 160. P. 45–66.

Schmidt M.W. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1992. Vol. 110. P. 304–310.

Yavuz F., Yildirim D.K. A Windows program for pyroxene-liquid thermobarometry // Periodico di Mineralogia. 2018. Vol. 87. P. 149–172.

Н.В. Дмитриева, В.А. Симонов, И.Ю. Сафонова, А.В. Котляров

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

Условия кристаллизации вкрапленников клинопироксена из эффузивных пород острова Сулавеси (Тихий океан)

N.V. Dmitrieva, V.A. Simonov, I.Yu. Safonova, A.V. Kotlyarov

*Sobolev Institute of Geology and
Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

Crystallization conditions of clinopyroxene phenocrysts from effusive rocks of Sulawesi Island (Pacific Ocean)

Abstract. Study of minerals and melt inclusions showed that clinopyroxenes in basalts of Sulawesi Island (Pacific Ocean) crystallized during magma ascent as pressure and temperature decreased from 7 to 0.5 kbar and from 1170 to 1080 °C, respectively. A low-temperature melt (995–950 °C) was also involved in the formation of «andesitic» clinopyroxenes in addition to «basaltic» magma (with higher temperatures). The crystallization of clinopyroxenes in dacites occurred from a low-temperature melt (1055–950 °C) at higher pressure (up to 7 kbar). Clinopyroxenes crystallized under influence of two chemically contrasting magmatic systems: basaltic and dacitic. The andesitic clinopyroxene-forming magma is considered intermediate.

При исследовании условий формирования древних эффузивных комплексов, со многими из которых связаны месторождения полезных ископаемых, трудно получить обоснованную информацию без сравнительного анализа с эталонными данными по современным объектам. В частности, такими объектами являются островные дуги на западе Тихого океана. Изучение древних и современных эффузивных комплексов в Институте геологии и минералогии СО РАН (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) проводится постоянно, и в последнее время получены представительные данные об условиях кристаллизации клинопироксена из эффузивных пород острова Сулавеси (Тихий океан). Настоящая работа представляет результаты изучения составов вкрапленников клинопироксена и содержащихся в них расплавных включений из современных базальтов, андезитов и дацитов в северо-восточной части острова Сулавеси из коллекции И.Ю. Сафоновой.

Условия кристаллизации клинопироксена из эффузивов опеределены в программе WinPLtb, основанной на соотношениях составов пироксена и расплава, из которого он кристаллизуется [Yavuz, Yildirim, 2018]. При расчетах применены хорошо известные и апробированные на других объектах барометры и термометры [Masotta et al., 2013; Putirka, 2008], входящие в состав программы WinPLtb. Информация по химическому составу расплава получена в ходе анализа гомогенных стекол прогретых первичных включений в клинопироксене.

При обработке результатов расчетного моделирования учтены данные из работы [Yavuz, Yildirim, 2018] о точности (стандартная ошибка оценки-расчета) определения давлений и температур по барометрам и термометрам, находящимся в программе WinPLtb. Согласно [Yavuz, Yildirim, 2018] стандартная ошибка оценки-расчета для оценок-расчетов давлений в среднем составляет ± 1.55 кбар, а для температур – ± 21 °С. Соответственно, кроме непосредственных расчетных данных по давлению и температуре учитываются диапазоны стандартных ошибок.

В результате исследований установлен единый тренд одновременного падения температур и давлений для клинопироксена из базальтов, что наиболее вероятно связано с равномерным подъемом магмы с фактически постоянно кристаллизующимися пироксенами. «Андезитовые» клинопироксены кристаллизовались вначале из высокотемпературных «базальтовых» магматических систем, которые сменялись при почти постоянных давлениях более низкотемпературными и менее магнезиальными расплавами. Исследования дацитов показали третий путь развития РТ-параметров образования клинопироксенов. Температуры их кристаллизации существенно ниже, чем для большинства пироксенов из базальтов и андезитов, а давления достаточно высокие и близки к данным по «базальтовым» и «андезитовым» минералам.

В итоге, прослежена эволюция современного магматизма острова Сулавеси в последовательной смене: базальты → андезиты → дациты. Основой послужила «базальтовая» магматическая система с кристаллизацией клинопироксена в ходе равномерного подъема магмы, сопровождающегося падением давления (от 7 до 0.5 кбар) и закономерным уменьшением температуры от 1170 до 1080 °С. Кроме «базальтовых» высокотемпературных магм при кристаллизации «андезитовых» клинопироксенов участвовали низкотемпературные (995–950 °С) расплавы практически при тех же давлениях. Клинопироксены дацитов образовывались исключительно из относительно низкотемпературных (1055–950 °С) расплавов при повышенном (до 7 кбар) давлении, характерном для базальтов. О влиянии «базальтовой» системы на образование пироксенов в дацитах свидетельствуют не только повышенное давление, но и сходство составов части клинопироксенов.

Составы вкрапленников клинопироксена в эффузивах зависят от содержания химических компонентов в расплаве, отражая особенности эволюции магматических систем. Особое значение имеют зональные кристаллы, последовательное изучение которых от центра к краю позволяет выяснить важные детали минералообразующих процессов в ходе формирования эффузивных пород.

Исследование вкрапленников по разрезам показало, что клинопироксены базальтов и андезитов кристаллизовались при участии двух типов расплавов: с повышенными и пониженными магнезиальностью (Mg#) и содержаниями Al_2O_3 . Вкрапленники клинопироксена из дацита образовывались исключительно из расплавов с пониженными значениями Mg# и содержаниями Al_2O_3 в отличие от минералов из базальтов и андезитов. Для «дацитовых» пироксенов характерны устойчивые значения магнезиальности и содержания Al_2O_3 в начале кристаллизации клинопироксена с падением содержания Al_2O_3 на завершающих этапах роста этого минерала.

В результате изучения изменения состава вкрапленников от центра к краю установлено, что при формировании современных эффузивов северо-восточной части острова Сулавеси принимали участие разные магматические системы, имеющие особенности развития во времени. Выделяются наиболее примитивные (высокомагнезиальные) расплавы с выдержанными составами, из которых кристаллизовались базальтовые вкрапленники клинопироксена (с максимумами значений Mg# и содержания Al_2O_3). Следы этих расплавов прослеживаются в клинопироксенах из андезитов. Другие (менее магнезиальные) «базальтовые» клинопироксены не выдержаны по своему составу с падением значений Mg# и содержания Al_2O_3 в краевых частях, где они практически совпадают с данными по «дацитовым» клинопироксенам. По характеру изменения составов вкрапленников клинопироксена выделяются две контрастные магматические системы: базальтовая и дацитовая. Андезитовые магмы занимают промежуточное положение.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (№№ 122041400057-2 и 122041400044-2) и при поддержке РФФ (№ 21-77-20022).

Литература

Masotta M., Mollo S., Freda C., Gaeta M., Moore G. Clinopyroxene-liquid thermometers and barometers specific to alkaline differentiated magmas // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2013. Vol. 166. P. 1545–1561.

Putirka K.D. Thermometers and barometers for volcanic systems // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2008. Vol. 69. P. 61–120.

Yavuz F., Yildirim D.K. A Windows program for pyroxene-liquid thermobarometry // Periodico di Mineralogia. 2018. Vol. 87. P. 149–172.

С.Н. Кох

*Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия
zateeva@igm.nsc.ru*

Грязевые вулканы – транспортеры вещества и минералообразующие системы

S.N. Kokh

*Sobolev Institute of Geology and
Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

Mud volcanoes – element flux and mineral formation processes

Abstract. Active mud volcanic systems in Kerch-Taman, Caspian, Sakhalin and Ily regions are characterized in terms of sources of sedimentary material and mechanisms of its redistribution, mobilization,