

## **Evidences of magma mixing event under Unzen Volcano (Japan) during 1991-1995 eruption**

Ilya S. Fomin, Pavel Yu. Plechov, Alexandra E. Tsay  
Petrology department, Lomonosov Moscow State University, Russia  
Corresponding author: [fomin@web.ru](mailto:fomin@web.ru)

Recent eruption of Unzen Volcano in 1991-1995 has caught attention of scientists all over the world because of disastrous character of previous one in 1792. Intrusion of andesitic magma to the chamber with rhyolitic magma is proposed as a trigger for this eruption. Parameters of two end-member magmas has been estimated several times, but usually estimations are based on phenocrysts assemblages. Origin of these phenocrysts is unclear: usually only mineral composition and reaction rims are used to prove their source. So it is possible to propose another explanation of phenocrysts formation instead of magma mixing.

In our work we selected several mafic enclaves from 1995 lava dome and proved a magma mixing origin only by petrographic features. Our arguments are:

- Smooth edges of enclaves have “chilled margins” structures. Major axis of microlithes in margin is usually between 0.4-0.9 from the size of the major axis of microlithes inside enclave, which is a general feature for quenching process. An X-Ray microtomography has been applied to estimate it (Skyscan 1172).
- “Chilled margin” near cusps (angular in form edges) is absent. It can be interpreted as a result of enclave fragmentation process after quenching and host magma heating.
- In some places chilled margin is found broken and host rock groundmass with small phenocrysts can be found in cracks. According to these observations, chilled margin’s microlithes formed after the enclave formation and before crack formation. It give us direct prove for magma-in-magma heterogeneity.
- Large plagioclase phenocrysts can be observed in enclaves. They are the same to phenocrysts from host rock, so they could be rapidly captured from it before quenching.
- In addition, such features as opacitization of hornblend and biotite in host rock, pyroxene rims around quartz phenocrysts, as well as two glasses inside mafic enclaves also can be used to estimate magma mixing extent. Absence of quartz microlithes is another argument for this theory.

Therefore it is possible to use these mafic enclaves instead of phenocrysts for estimation of thermodynamic parameters. Also it confirms the possibility of capturing of the phenocrysts from intruded magma.

Previous investigations provided us with the following thermodynamic conditions:

- For host rhyolitic magma: 100÷300MPa, 775÷875 C, 4±1 wt. % H<sub>2</sub>O,  $f_{O_2} = NNO$  [Holtz et al., 2005]; 790±20 C, 160 MPa [Venezky, Rutherford, 1999]; 770 C, 300-400 MPa, 7÷8 wt. % H<sub>2</sub>O [Cichy et al., 2009].
- For intruded andesitic magma: 1050±75 C, up to 8 wt. % H<sub>2</sub>O [Holtz et al., 2005]; 1030÷1130 C [Venezky, Rutherford, 1999]; 1050 C [Cichy et al., 2009].

- For magma after mixing: 870÷900 °C, 6±1 wt. % H<sub>2</sub>O [Holtz et al., 2005]; 850÷930 °C [Venezky, Rutherford, 1999], 930 °C [Cichy et al., 2009].

Our thermometry data (two pyroxenes, hornblende and plagioclase, oxides) gave 750÷850 °C for host magma, 1050÷1100 °C for intruded one and 850÷950 °C for magma after mixing.

This data provided the possibility to calculate the volume per cent of intruded magma in a part of magmatic chamber, that was involved both to the magma mixing and extrusive processes. Our estimation is 16 vol.%.

Maximum observed size of the enclaves is 20 cm. We assume, that thermal equilibration time was not exceeded 32 hours [Plechov et al., 2008]. That means, that chilled magmas formed quickly enough to prevent any effective assimilation of enclaves and this fact can be used to estimate mafic end member of the mixing process.

The presence of altered phenocrysts could be a result of principally another mechanism of intruding. We suppose, that the first portion of andesitic magma formed enclaves and only heated magmatic chamber, while the further magma could be efficiently mixed with the host one before crystallisation.

#### Literature:

- Cichy S.B., Holtz F., Botcharnikov R.E., Behrens H., Vetere F., Sato H. Preeruptive conditions and dynamic processes in magmatic systems: the example of Unzen 1991-1995 eruption // *Geochimica et Cosmochimica Acta Supplement*, Volume 73, p.A225
- Holtz F., Sato H., Lewis J., Behrens H., Nakada S. Experimental Petrology of the 1991–1995 Unzen Dacite, Japan. Part I: Phase Relations, Phase Composition and Pre-eruptive Conditions // *Journal of petrology*, 2005, vol. 46, No 2, pp. 319-337
- Plechov P., Fomin I., Melnik O., Gorokhova N. Melt evolution during intruding basalts into acid magmatic chamber // *Moscow University Geology Bulletin*, 2008, Vol. 63, No. 4, pp. 247-257.
- Venezky D.Y., Rutherford M.J. Petrology and Fe–Ti oxide reequilibration of the 1991 Mount Unzen mixed magma // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1991, vol. 89, pp. 213–230.

## Доказательства смешения магм в течение извержения вулкана Унзен (Япония) в 1991-1995 гг.

Илья С. Фомин, Павел Ю. Плечов, Александра Е. Цай  
Кафедра петрологии, Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова,  
Россия  
Контактный e-mail: [fomin@web.ru](mailto:fomin@web.ru)

Недавнее извержение вулкана Унзен в 1991-1995 гг. Привлекло внимание учёных всего мира вследствие катастрофических последствий, вызванных предыдущим извержением в 1792 г. В качестве причины извержения предполагается внедрение в кислый вулканический очаг порции андезитовой магмы. Работы по установлению термодинамических параметров конечных членов смешения были сделаны несколько раз, но обычно они основаны на изучении гломеропорфировых сростков и фенокристов. Источник этих вкрапленников неоднозначен, так как обычно доказательство базируется исключительно на минеральном составе и реакционных каймах. Однако для объяснения их происхождения можно предположить и иную по сравнению со смешением магм модель.

В нашей работе мы выбрали несколько темноцветных включений (анклавов) из экструзивного купола 1995 года и доказали их происхождение в результате смешения магм, используя только петрографические критерии. Этими критериями являются:

- Скруглённые границы включений имеют структуры закалочного типа (“chilled margins”). Длинная ось микролитов в кайме обычно составляет около 0.4-0.9 от размера соответствующей оси микролитов внутри включения. Это было подтверждено рентгеновской микротомографией (Skyscan 1172).
- Вблизи угловатых границ включений границы закалочного типа отсутствуют. Это может быть интерпретировано как результат фрагментации внедрившейся магмы после закалки и прогрева вмещающей магмы.
- В некоторых местах закалочная кайма разбита трещинами, в которые проникает вещество (расплав и микролиты) вмещающей магмы. Поэтому закалочные каймы образовались после образования включений и до образования трещин. Это является прямым доказательством наличия глобул одной магмы в другой.
- Наличие во включениях крупных вкрапленников плагиоклаза, аналогичных таковым во вмещающих породах, может быть объяснено их захватом до закалки анклавов.
- Такие особенности, как опацификация роговой обманки и биотита, пироксеновые каймы вокруг кварца, два стекла внутри темноцветных включений также могут свидетельствовать в пользу смешения магм. Присутствие кварца только в фенокристах также свидетельствует в пользу данного предположения.

Таким образом, эти включения могут быть использованы вместо фенокристов для установления термодинамических параметров. Следует отметить, что проведённое доказательство подтверждает возможность захвата фенокристов из внедрившейся магмы.

В предыдущих исследованиях получены следующие значения термодинамических параметров:

- Для вмещающей риолитовой магмы:  $100\div 300$  МПа,  $775\div 875$  С,  $4\pm 1$  wt. %  $H_2O$ ,  $f_{O_2} = NNO$  [Holtz et al., 2005];  $790\pm 20$  С, 160 МПа [Venezky, Rutherford, 1999]; 770 С, 300-400 МПа,  $7\div 8$  wt. %  $H_2O$  [Cichy et al., 2009].
- Для внедрившейся андезитовой магмы:  $1050\pm 75$  С, up to 8 wt. %  $H_2O$  [Holtz et al., 2005];  $1030\div 1130$  С [Venezky, Rutherford, 1999]; 1050 С [Cichy et al., 2009].
- Для магмы после смешения:  $870\div 900$  С,  $6\pm 1$  wt. %  $H_2O$  [Holtz et al., 2005];  $850\div 930$  С [Venezky, Rutherford, 1999], 930 С [Cichy et al., 2009].

Наши данные по термометрии следующие (по двум пироксенам, роговой обманке и плагиоклазу, оксидам):  $750\div 850$  С для магмы очага до смешения,  $1050\div 1100$  С для внедрившейся и  $850\div 950$  С для магмы после смешения.

Эти данные позволяют рассчитать объёмную долю внедрившейся магмы в части магматического очага, непосредственно вовлечённой и в процессы смешения, и экструзии на поверхности. Наша оценка - 16 об. %.

Максимальный наблюдаемый размер включений – 20 см. Время температурного уравнивания (по [Plechov et al., 2008]) не превышало 32 часов. Это означает, что закалочные каймы формировались достаточно быстро для предотвращения значительной ассимиляции вещества анклавов. Это означает, что они подходят для изучения внедрившейся магмы.

Наличие изменённых фенокристов является, скорее всего, следствием принципиально другого режима внедрения. Мы предполагаем, что первая порция андезитовой магмы образовала анклавы и прогрела магматическую камеру, в то время как последующие порции магмы могли быть эффективно ассимилированы веществом очага до кристаллизации.

#### Литература:

- Cichy S.B., Holtz F., Botcharnikov R.E., Behrens H., Vetere F., Sato H. Preeruptive conditions and dynamic processes in magmatic systems: the example of Unzen 1991-1995 eruption // *Geochimica et Cosmochimica Acta Supplement, Volume 73*, p.A225
- Holtz F., Sato H., Lewis J., Behrens H., Nakada S. Experimental Petrology of the 1991–1995 Unzen Dacite, Japan. Part I: Phase Relations, Phase Composition and Pre-eruptive Conditions // *Journal of petrology*, 2005, vol. 46, No 2, pp. 319-337
- Plechov P., Fomin I., Melnik O., Gorokhova N. Melt evolution during intruding basalts into acid magmatic chamber // *Moscow University Geology Bulletin*, 2008, Vol. 63, No. 4, pp. 247-257.
- Venezky D.Y., Rutherford M.J. Petrology and Fe–Ti oxide reequilibration of the 1991 Mount Unzen mixed magma // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1991, vol. 89, pp. 213–230.