

## **К вопросу об эволюции представлений об ареальном вулканизме**

**Ю.А. Кугаенко<sup>1</sup>, А.О. Волинец<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Петропавловск-Камчатский 683006, ku@emsd.ru

<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Приведен обзор существующих взглядов на ареальный вулканизм, который по ряду параметров занимает промежуточное положение между полигенными и моногенными вулканическими образованиями. Обсуждается одно из наиболее изученных камчатских полей ареального вулканизма (ПАВ) – Толбачинский Дол, новый виток дискуссии о строении которого был инициирован извержением 2012–2013 гг. Обобщаются особенности этой региональной зоны, позволяющие рассматривать ее в свете новых представлений о классификации вулканических объектов по Nemeth & Kereszturi, 2015.

### **ПАВ как проявление моногенного вулканизма**

Моногенный вулканизм и поля ареального вулканизма (ПАВ) в последние годы привлекают все больше внимания. Это связано с тем, что эти объекты изучены значительно слабее, чем стратовулканы. Считается, что ПАВ – это лишь скопление небольших моногенных (одноактных) короткоживущих вулканов, которые концентрируются вдоль тектонических нарушений и имеют достаточно примитивные системы питания, обеспечивающие быстрое поступление магмы из верхней мантии к поверхности (субвертикальные каналы, иногда осложненные небольшими магматическими камерами). Однако эти представления и имеющиеся в научной литературе определения ПАВ не совсем соответствуют наиболее современным взглядам о месте этого явления в ряду основных известных типов вулканизма.

### **ПАВ в классификации Nemeth & Kereszturi**

В работах [11 и др.] предложена классификация вулканических объектов, в соответствии с которой ПАВ нельзя отнести ни к моногенным, ни к полигенным вулканам. В качестве основных отличительных особенностей ПАВ выделяются: полимагматическое происхождение отдельных эруптивных центров (поступление на поверхность магм контрастного состава и многоисточниковость процесса генерации магм); большой объем некоторых вулканических построек; кластеризация моногенных аппаратов; наличия под ПАВ долгоживущих сложно построенных магматических систем, а в ряде случаев – латеральная миграция магмы под ПАВ; отсутствие четко локализованного центрального магмоподводящего канала. Допускается, что возможна «фокусировка» магмоподводящей системы ПАВ в одном канале, тогда следующей стадией развития поля явится рождение и рост полигенного вулкана. Возможен и наложенный моногенный вулканизм: «захват» остатков питающей системы потухшего стратовулкана ареальной зоной.

### **Толбачинская зона ареального вулканизма**

Толбачинская зона ареального (моногенного) вулканизма и в особенности ее южная ветвь – Толбачинский Дол (ТД) – достаточно хорошо изучена различными методами. В частности, большое внимание исследователей было уделено последним историческим извержениям: Большому трещинному Толбачинскому извержению 1975-1976 гг. (БТТИ) и Трещинному Толбачинскому извержению 2012-2013 гг. (ТТИ). На примере этого ПАВ могут быть продемонстрированы особенности системы магматического питания, не характерные для отдельных моногенных и полигенных

вулканов. Рассмотрим основные особенности Толбачинского ПАВ, проявившиеся в течение последних 2 тыс. лет.

*Контрастный состав изверженных магм. Проблемы их генезиса.* Продукты извержений имеют контрастный состав – это высоко-Mg, умеренно-K (магнезиальные) и высоко-Al, высоко-K (глиноземистые) базальты, а также их промежуточные разновидности. В ходе ТТИ на поверхность поступили магмы, ранее никогда не проявлявшиеся на ТД: трахиандезиобазальты с высокими концентрациями титана и щелочей.

Существует две противоположные точки зрения на вопрос генезиса магнезиальных и глиноземистых базальтов, проявленных в пределах одного центра активности: (1) магмы рассматриваются как независимые, как результат подъема и/или смещения двух различных, не связанных друг с другом разноглубинных расплавов [14, 1 и др.]; (2) обосновывается их взаимосвязь как результат фракционирования единого высоко-магнезиального расплава с образованием дочерних высокоглиноземистых магм [4, 7, 10 и др.].

ТТИ предоставило дополнительные материалы для обоснования второй точки зрения. В работе [13] высказывается предположение, что все разнообразие пород в процессе извержений БТТИ и ТТИ может быть описано в рамках фракционной кристаллизации в сравнительно сухих условиях родительского расплава, по составу аналогичного Mg базальтам Северного прорыва БТТИ; расплавы, изверженные в ходе ТТИ, являются производными высоко-Al магм Южного прорыва БТТИ и связаны с ними процессами фракционирования в медленно остывающем очаге. Авторы [9] связывают наличие на Толбачинском долу двух геохимических трендов (умеренно- и высоко-K) с различной активностью воды при кристаллизации – от водонасыщенной кристаллизации умеренно-K высоко-Mg базальтов до безводной – субщелочных. Разницу в концентрациях микроэлементов авторы объясняют различным обогащением / обеднением одного и того же мантийного источника в результате апвеллинга.

Авторы [12] полагают, что все особенности химизма пород, изверженных на ТД в течение голоцена, находят объяснение в рамках так называемых REFC-процессов (recharge-evacuation-fractional crystallization). Согласно этой точке зрения, первичные магмы, образовавшиеся на глубине около 60 км, подвергаются фракционированию на глубинах менее 35 км в открытой системе с периодической подпиткой более примитивными расплавами и последующим смешением магм обоих типов, дальнейшему фракционированию и, в итоге, извержению (-ям). Таким образом, высоко-Mg базальты являются результатом фракционирования первичных мантийных выплавов. Высоко-K глиноземистые базальты, доминирующие в ТД, и трахиандезиобазальты последнего извержения представляют собой т. н. «устойчивые» (steady-state) составы – продукты длительного развития подобной долгоживущей системы и фракционирования in situ. Основными особенностями REFC- процессов являются (1) наличие устойчивых составов и (2) их сходство с составом продуктов равновесной кристаллизации, (3) зависимость количества циклов REFC, необходимых для достижения устойчивого состава, от коэффициента распределения элемента, и (4) потенциально большое фракционирование между несовместимыми микроэлементами [12]. Базальты промежуточного типа появляются в результате смешения эволюционировавших (глиноземистых) и магнезиальных магм. Заключение, сделанное в работе [13], не противоречит этой гипотезе, а описывают один из циклов REFC. Таким образом, появилась концепция генезиса, при соблюдении определенных условий объединяющая и модели взаимосвязи & фракционирования расплавов, и модели смешения магм.

*Неравномерность пространственного распределения эруптивных центров магмы различного состава.* Центры извержений глиноземистых базальтов стянуты к

северной части ТД и вулкану Плоский Толбачик (ВПТ), магнезиальные базальты извергаются преимущественно в средней части Дола, а их промежуточные разности преобладают в южной. Эта поверхностная картина свидетельствует о латеральных отличиях различных сегментов магматической питающей системы под ТД и ВПТ.

*Структура магматической питающей системы.* ТД – это ПАВ, образовавшееся в голоцене и связанное с глубинным разломом (рифтом), пересекающим ВПТ [1]. Первая модель магматического питания ТД была предложена после БТТИ для разнесенных вдоль рифта эруптивных центров этого извержения [1, 14], она базировалась на гипотезе смещения магматических расплавов и существовании сублатеральных магмоводов, глубины залегания которых оставались дискуссионными. Анализируя закономерности в геологической истории формирования ТД, авторы этой модели также высказали предположение о том, что мощные извержения глубинных Mg-базальтов провоцировали последующие извержения Al-базальтов, залегающих на меньшей глубине. Результаты применения метода микросейсмического зондирования (ММЗ), выполненного на ТД в 2010-2015 гг., подтверждают существование под центральной частью ТД сквозькоровой области магмопроводимости и двух сублатеральных низкоскоростных структур (предположительно – магмоводов): первой – уходящей вдоль рифта на глубине 4-8 км от центральной в южную часть ТД, второй – на глубине 15-25 км по ВПТ. Существование магмосодержащего горизонта на глубине 17-25 км под ВПТ предполагалось ранее по результатам электромагнитных исследований [1]. Результаты геофизических работ согласуются с петрологической моделью REFC [12].

*Наложение ПАВ на стратовулкан Плоский Толбачик.* История вулканизма и петрологические исследования Толбачинского района доказывают, что все происходившие в голоцене извержения, в том числе ТТИ, – это проявления типичного для ПАВ вулканизма трещинного типа, то есть они не являются побочными прорывами ВПТ [6 и др.]. В ходе БТТИ и подготовки ТТИ стратовулкан проявлял повышенную сейсмическую активность, которую связывают с одним или двумя периферическими магматическими очагами под ВПТ [5, 2, 8]. Однако сейсмотомографические исследования (работы Л.И. Гонтовой, И.Ю. Кулакова) не выявили ни подводящего канала, ни очагов под ВПТ. Не проявился малоглубинный очаг и на ММЗ-профиле, проведенном в 2014 г. до вершины ВПТ. Возможно, под воздействием ПАВ очаг под ВПТ уже деградировал, а магматическое питание трещинных извержений на склонах ВПТ осуществляется в ходе эпизодов спорадической активизации ПАВ, природа которых пока не объяснена.

*Временная изменчивость ПАВ.* Толбачинское ПАВ характеризуется временной изменчивостью. Так в голоцене выявлены два периода активности: 10-2 тыс. лет назад и последние 2 тыс. лет [1], различающихся составом изверженных продуктов и конфигурацией зоны активности. Однако изменения отмечены и на значительно меньшем временном интервале. Так, все известные на настоящий момент исторические трещинные извержения ТД предварялись, а в некоторых случаях и сопровождалась активизацией ВПТ; однако для трех последних трещинных толбачинских извержений (1941 г., БТТИ, ТТИ) сопутствующая активность ВПТ от извержения к извержению проявлялась все более слабо, что подтверждает предположение о деградации его собственной питающей системы. В работе [12] отмечено, что уникальность пород ТТИ обусловлена ослаблением притока глубинной первичной магмы после БТТИ. Авторы [3] даже определяют ТТИ как новый этап в развитии ТД, в ходе которого достаточно быстро менялся состав мантийных источников магмы, что обусловлено влиянием астеносферного диапира.

## Заключение

Толбачинское ПАВ обладает сложной, динамичной, изменчивой системой магматического питания, которая является суперпозицией субвертикальных и сублатеральных магмопроводящих структур. Характер текущей эволюции ВПТ не свойственен для стратовулканов, подтверждается подчиненная роль ВПТ наложенному ПАВ. Толбачинское ПАВ проявляет ряд особенностей, свидетельствующих в пользу предложенного в [11] классификационного обособления ПАВ от моногенных и полигенных вулканов.

## Список литературы

1. Большое трещинное Толбачинское извержение. М.: Наука, 1984. 637 С.
2. *Ермаков В.А., Гонтовая Л.И., Сеньков С.Л.* Тектонические условия и магматические источники нового Толбачинского трещинного извержения (п-ов Камчатка) // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 1. С. 5–33.
3. *Колосков, А.В., Давыдова, М.Ю., Избеков, П.Э. и др.* Эволюция состава пород новых Толбачинских вулканов в ходе извержения 2012-2013 гг. – мантийный контроль в формате «онлайн» // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 5. С. 19-39.
4. *Озеров, А.Ю., Арискин, А.А., Бармина, Г.С.* К проблеме генетических взаимоотношений высокоглиноземистых и высокомагнезиальных базальтов Ключевского вулкана (Камчатка) // Доклады Академии Наук. 1996. Т. 350. № 1. С. 104-107.
5. *Федотов С.А., Уткин И.С., Уткина Л.И.* Периферический магматический очаг базальтового вулкана Плоский Толбачик, Камчатка: деятельность, положение и глубина, размеры и их изменения по данным о расходе магм // Вулканология и сейсмология. 2011. № 6. С. 3–20.
6. *Флеров Г.Б., Ананьев В.В., Пономарев Г.П.* Петрогенезис пород вулканов Острого и Плоского Толбачиков и соотношение вулканических проявлений базальтовой и трахибазальтовой магм на территории Толбачинского Дола (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2015. № 3. С. 15-35.
7. *Ariskin, A. A., Barmina, G. S., Ozerov, A. Yu., et al.* Genesis of high-alumina basalts from Klyuchevskoi volcano // Petrology. 1995. 3(5). P. 496-521.
8. *Belousov A., Belousova M., Edwards B., et al.* Overview of the precursors and dynamics of the 2012–13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // JVGR. 2015. V. 307. P. 22-37.
9. *Churikova, T. G., Gordeychik, B. N., Iwamori, H., et al.* Petrological and geochemical evolution of the Tolbachik volcanic massif, Kamchatka, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2015. Vol. 307. P. 156-181.
10. *Kersting, A. B., Arculus, R. J.* Klyuchevskoy volcano, Kamchatka, Russia: the role of high-flux recharged, tapped, and fractionated magma chamber (s) in the genesis of high-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> from high-MgO basalt // J. Petrol. 1994. 35(1). P. 1-41.
11. *Nemeth, K., Kereszturi, G.* Monogenetic volcanism: personal views and discussion // International Journal of Earth Sciences. 2015. 104. P.2131-2146.
12. *Portnyagin M., Duggen S., Hauff F., et al.* Geochemistry of the Late Holocene rocks from the Tolbachik volcanic field, Kamchatka: towards quantitative modeling of subduction-related open magmatic systems // JVGR. 2015. Vol. 307. P. 133-155.
13. *Volynets A., Edwards B., Melnikov B., et al.* Monitoring of the volcanic rock compositions during the 2012–13 fissure eruption at Tolbachik Volcano, Kamchatka // JVGR. 2015. V. 307. P. 120-133.
14. *Volynets O.N., Flerov G.B., Andreev V.N. et al.* Geochemical features of the rocks of the Great Tolbachik Fissure Eruption 1975-1976 in relation to petrogenesis // The Great Tolbachik Fissure Eruption: Geological and Geophysical Data. Cambridge Earth Science Series. Cambridge University Press. 1983. P. 116-140.