



УДК 551.21+552.3

А. О. Вольнец<sup>1</sup>, И. Г. Грибоедова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский  
e-mail: a.volynets@gmail.com*

<sup>2</sup> *Институт геологии, геохимии и минералогии рудных месторождений РАН,  
Москва*

## Зональность в плагиоклазах Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. в связи с процессами в магматической камере

Представлены первые результаты изучения характера зональности в плагиоклазах и распределения микроэлементов в плагиоклазах и пироксенах Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. Описаны различные типы зональности и корреляций анортита с микроэлементами. Показано, что на рост кристаллов и распределение в них макро — и микроэлементов в первую очередь влияли колебания давления и фугитивности кислорода; свидетельств смешения с более основными расплавами не обнаружено.

### Введение

Плагиоклаз является главным минералом-вкрапленником во всех породах Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. Также, наряду со стеклом, рудными и подчиненным количеством темноцветных минералов (оливина, пироксена), он формирует основную массу. Кристаллы плагиоклаза в изученных породах представлены лабрадором и битовнитом двух генераций (без учёта плагиоклаза основной массы): 1) — в различной степени резорбированные, как правило, достаточно крупные (до см и более по удлинению) фенокристаллы, с большим количеством включений стекла, часто резорбированными краями и центральными частями, и 2) — нерезорбированные чистые зёрна с ровными, как правило идиоморфными очертаниями, обычно небольшого размера (субфенокристаллы). Целью настоящей работы было изучение характера зональности в кристаллах Pl по содержанию анортитовой молекулы и концентрациям железа и магния. Работами [6, 9, 1 и др.] было показано, что пара Fe-Mg в сопоставлении с содержанием An является весьма эффективным инструментом для оценки условий кристаллизации плагиоклаза: вариаций фугитивности кислорода, давления, температуры, а также смешения с более основными расплавами. Детальное изучение зональности в кристаллах всех генераций позволило нам сделать первые выводы о процессах, протекавших в магматической камере до и во время извержения.

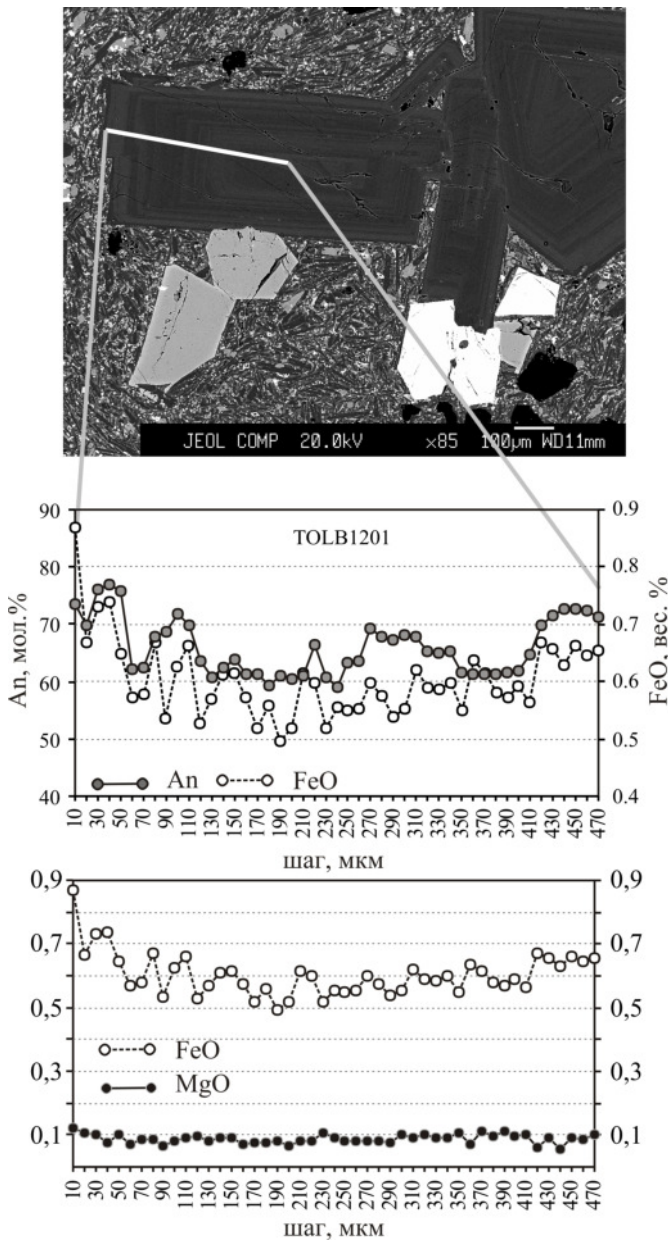
### Прорыв Меняйлова

Для фенокристаллов плагиоклаза в лавах прорыва Меняйлова характерна почти осцилляционная зональность по содержанию анортита и железа на фоне практически постоянного содержания маг-

ния (рис. 1, 2). Вместе с тем есть участки, где An и Fe коррелируют положительно, равно как и небольшие участки, где отмечены положительные корреляции сразу по всем трём элементам. В целом можно выделить два тренда: а) с положительной корреляцией между An и Fe при постоянном Mg (характерно для An ~ 60–80) и б) резко отрицательной корреляцией An с Fe и Mg (An < 65) (рис. 2).

### Прорыв Набоко

В лавах прорыва Набоко были проанализированы кристаллы трёх генераций: крупные мегакристаллы, субфенокристаллы промежуточного размера, и микролиты. Распределение магния, железа и анортита в проанализированных нами плагиоклазах носит достаточно разнообразный характер. В трёх описанных нами мегакристаллах наблюдаются либо относительно постоянные концентрации всех параметров, либо Fe и An колеблются, не коррелируя друг с другом, на фоне постоянного содержания магния, причём в кристаллах отмечена обратная зональность по анортиту с возрастанием содержания An на 10 мол.%, кристалл сильно резорбирован. Количество изученных субфенокристаллов существенно больше в связи с их большей распространённостью в породах. Здесь наблюдаются следующие виды зональности: 1) концентрации железа и магния постоянны при меняющемся содержании анортита (образцы Tm5, To19, To17); 2) содержание анортита и магния постоянно, концентрация железа растёт (обр. To17, Tm11 — к краям кристалла, рис. 3) либо сильно варьирует вне связи с другими параметрами (Tm11); 3) в краевых частях некоторых субфенокристаллов наблюдается понижение анортита при резком возрастании концентрации железа, тогда как содержание магния либо постоянно, либо слабо положительно коррелирует с железом (края



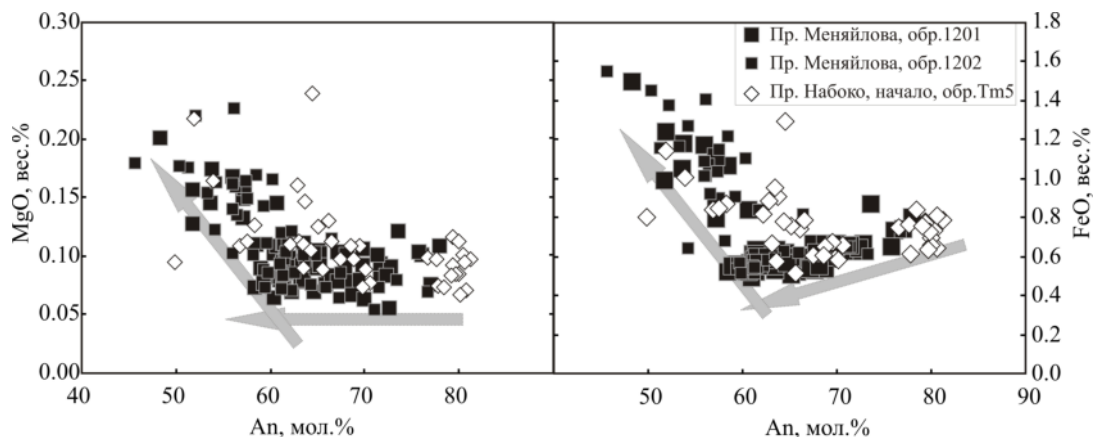
**Рис. 1.** Характер зональности по содержанию анортитовой молекулы (An), железа и магния в фенокристалле плагиоклаза в лаве прорыва Меньяйлова, образец TOLB 1201.

Pl в обр. Tm5, To19, Tm11, Tm6, TOLB1317, To17) 4) концентрации Fe и An положительно коррелируют друг с другом на фоне постоянного содержания Mg (начальные порции прорыва Набоко (обр. Tm6 и Tm5)).

Как было показано работами [6, 9, 1 и др.], характер распределения этих трёх компонентов в Pl зависит от нескольких параметров: состава расплава, его температуры, давления, содержания воды, активности кислорода. Совместный рост железа, магния и анортита говорит о смещении магм с более основными расплавами (как правило, это отражается также и на содержаниях Sr и Ba в Pl). В нашем

случае, присутствие обратной зональности по An в мега- и субфенокристаллах, с плавным ростом содержания An к краю кристалла до 80 мол.% и более, и наличие высоко-анортитовых зон в центральных частях субфенокристаллов (с разницей по содержанию анортита в соседних зонах до 20 мол.%) на фоне постоянных концентраций Mg, не может быть вызвано смешением с более основными расплавами. Это подтверждается и отсутствием корреляций между An, Sr и Ba во всех изученных кристаллах. Кроме того, результаты геохимического моделирования показывают, что с расплавами извержения равновесен более кислый плагиоклаз (An65). Таким образом, можно утверждать, что влияние более основных расплавов на состав кристаллизующихся вкрапленников не проявлено. При внимательном рассмотрении кристаллов лаве прорыва Меньяйлова можно найти отдельные участки, где виден одновременный рост к краю кристалла содержания An, Fe и Mg при одновременном уменьшении концентраций Sr и Ba. В этих участках видны следы резорбции, т. е. возможного разогрева этого кристалла. Если принять скорости роста плагиоклаза максимальными,  $10^{-8}$  см в секунду [3], то кайма шириной 50 микрон, соответствующая размерам каймы кристалла с момента последней резорбции, нарастет в течение 5 суток. Таким образом, краевые части кристаллов прорыва Меньяйлова, возможно, несут свидетельства усиления конвективных процессов в камере непосредственно перед извержением.

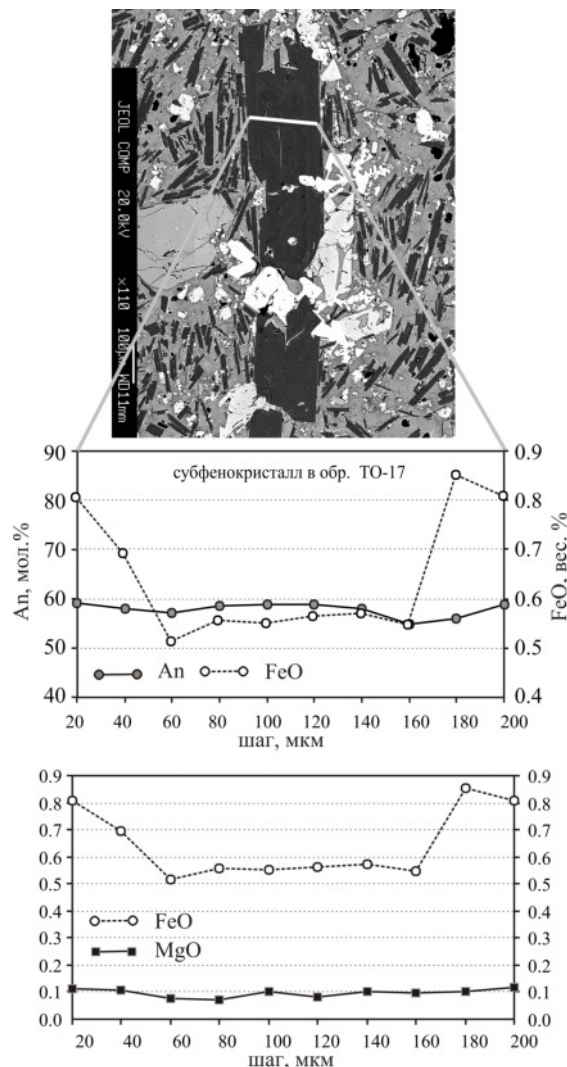
Изменения только в температуре расплава привели бы к резорбции и нарастанию нового слоя с более высоким содержанием An при постоянных концентрациях Fe; такой характер зональности присутствует в мегакристаллах обоих прорывов. Колебания в содержании анортитовой молекулы при относительно постоянных концентрациях железа и магния без видимых следов резорбции могут быть вызваны изменением давления в камере. Возможен также вариант совместного воздействия этих двух факторов: при декомпрессии происходит выделение скрытой теплоты кристаллизации, вследствие чего температура расплава может вырасти на  $\sim 100^\circ\text{C}$  [2], что, в свою очередь, приводит к росту содержания анортитовой молекулы; остывание и дегазация ведут к снижению An [6]. Концентрация железа при этом остаётся постоянной. Влияние этого механизма на состав кристаллизующегося плагиоклаза отражено во многих кристаллах прорыва Набоко. Небольшие вариации Fe вне связи с концентрациями Mg и An в плагиоклазе наиболее вероятно связаны с колебаниями фугитивности кислорода: увеличение  $f\text{O}_2$  ведёт к увеличению концентрации железа в Pl. Падение An совместно с резким ростом содержания Fe к краям кристаллов возможно связано с одновременным влиянием состава расплава, его температуры (остывание) и роста фугитивности во время извержения либо в момент образования трещины.



**Рис. 2.** Зависимость содержания магния и железа от анортита в плагиоклазах лав прорыва Меняйлова и начальных порций прорыва Набоко (обр. Тм05, лавовый поток от 2 декабря 2012 г.). Стрелками показаны два тренда: рост содержания Mg и Fe при уменьшении содержания An при An < 65, и отсутствие корреляций при An60–80.

Колебания фугитивности кислорода, предварявшие извержение, запечатлены также в структурах основной массы пород прорыва Меняйлова и ранних порций лав прорыва Набоко. Здесь наблюдается два типа основной массы: 1) раскристаллизованная, сложенная Pl (размером до  $10 \times 80\text{--}100 \mu\text{m}$ ), Px и Mt (с размерами  $5\text{--}10 \mu\text{m}$ ), в которой часто встречаются крупные, иногда скелетные субфенокристаллы магнетита, и 2) тонкозернистая основная масса, сложенная лейстами Pl ( $1\text{--}3 \times 5\text{--}10 \mu\text{m}$ ) и большим количеством Mt суб-микронного размера. Между этими двумя типами ОМ наблюдаются резкие контакты, подчеркнутые тонкими «поясами» из мельчайших кристаллов магнетита. Такие же магнетитовые оторочки наблюдаются и вокруг фенокристаллов оливина, и в микроскопических трещинах в основной массе и Ol. Косвенным свидетельством более окислительной обстановки в краевых частях камеры, из которых были извергнуты лавы прорыва Меняйлова, является низкое Ti/Al отношение в пироксенах этих лав ( $\text{Ti}/\text{Al} \sim 0.27$  в Px прорыва Меняйлова против  $\sim 0.34$  в прорыве Набоко, рис. 2); по экспериментальным данным [7] и данным [5] по вулкану Стромболи, это отношение имеет обратную зависимость от фугитивности кислорода. В свете этих сведений становится понятной и находка высоко-Fe оливинов в породах нового извержения [8]: согласно [4, 5], кристаллизация неравновесного с магмой Fo  $\sim 98$  (вулкан Стромболи) может быть связана с резко окислительными условиями, которые приводят к распределению железа в оксиды и росту высокомагнезиального оливина. Увеличение фугитивности кислорода может быть вызвано внезапным сбросом давления и кратковременной сильной дегазацией.

Таким образом, характер зональности в плагиоклазах свидетельствует о конвективном перемещении расплава в магматической камере до извержения, без подпитки более основными расплавами. Распределение микроэлементов в плагиоклазах



**Рис. 3.** Характер зональности по содержанию анортитовой молекулы (An), железа и магния в субфенокристалле плагиоклаза в лаве прорыва Набоко (образец TO-17, лавовый поток от 9 февраля 2013 г.).

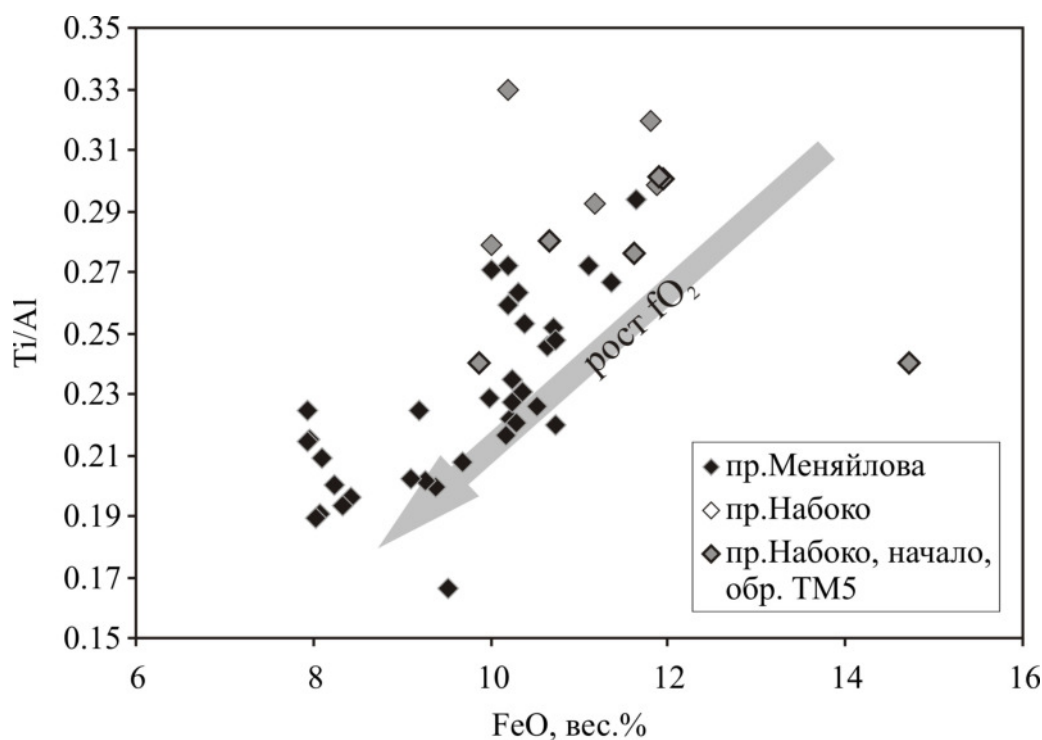


Рис. 4. Зависимость величины отношения  $Ti/Al$  от содержания железа в пироксенах лав Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг.

и пироксенах, а также структуры основной массы свидетельствуют о резком, скачкообразном возрастании фугитивности кислорода перед извержением или непосредственно во время извержения, связанном с образованием трещины.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-05-00 760-а.

#### Список литературы

1. Bindeman I. N., Davis A. M., Drake M. J. Ion microprobe study of plagioclase-basalt partition experiments at natural concentration levels of trace elements // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1998. Vol. 62. P. 1175–1193
2. Blundy J., Cashman K., Humphreys M. Magma heating by decompression-driven crystallization beneath andesite volcanoes // *Nature*. 2006. Vol. 443. №. 7107. P. 76–80.
3. Cashman K. V. Relationship between plagioclase crystallization and cooling rate in basaltic melts // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1993. Vol. 113. №. 1. P. 126–142.
4. Cortes J. A., Wilson M., Condliffe E., Francalanci L. The occurrence of forsterite and highly oxidizing conditions in basaltic lavas from Stromboli volcano, Italy // *Journal of petrology*. 2006. Vol. 47, no. 7. P. 1345–1373.
5. Del Moro S., Renzulli A., Landi P., et al. Unusual lapilli tuff ejecta erupted at Stromboli during 15 March 2007 explosion shed light on the nature and thermal state of rocks forming the crater system of the volcano // *Journal of volcanology and geothermal research*. 2013. Vol. 254. P. 37–52.
6. Ginibre C., Woerner G., Kronz A. Minor – and trace-element zoning in plagioclase: implications for magma chamber processes at Parinacota volcano, northern Chile // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2002. Vol. 143. P. 300–315.
7. Hammer J. E. Influence of  $fO_2$  and cooling rate on the kinetics and energetic of Fe<sup>2+</sup> rich basalt crystallization // *Earth and planetary science letters*. 2006. 248. P. 618–637.
8. Izbekov P., Koloskov A., Maximov A., Khabunaya S. The 2012 Fissure Tolbachik Eruption: Preliminary Results of Petrological Investigation // *Geophysical Research Abstracts*. 2014. Vol. 16. EGU General Assembly, Vienna April 26-May 2,<sup>1</sup> 710.pdf.
9. Ruprecht P., Woerner G. Variable regimes in magma systems documented in plagioclase zoning patterns: El Misti stratovolcano and Andahua monogenetic cones // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2007. Vol. 165. P. 142–162.

<sup>1</sup><http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-11>