

К ОЦЕНКЕ ГЛУБИННОСТИ ПИТАЮЩЕГО ОЧАГА ДЛЯ ЛАВ БАЗАЛЬТОВ И АНДЕЗИБАЗАЛЬТОВ МУТНОВСКОГО ВУЛКАНА

М.П. Гора¹, А.Я. Шевко¹, Д.Ю. Кузьмин²

¹Институт геологии и минералогии СО РАН (ИГМ СО РАН), Новосибирск,
e-mail: gora@uiggm.nsc.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Вулкан Мутновский расположен на северо-восточной оконечности Южно-Камчатской вулканической зоны и входит в состав Восточно-Камчатского вулканического пояса. Фундамент вулкана сложен вулканогенно-осадочными и вулканическими отложениями палеогена - раннего-среднего плейстоцена. В позднем плейстоцене на этом фундаменте началось формирование вулканической постройки Мутновского вулкана, которое продолжается до настоящего времени. Вулканическая постройка представляет собой хребтообразное сооружение, ориентированное в северо-западном направлении и состоит из четырех стратоконусов (Мутновский-I-IV), которые развивались последовательно по схеме: рост конуса – образование вершинной кальдеры – рост внутрикальдерной постройки - затухание вулкана [Селянгин, 1993].

На классификационной диаграмме $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ основная часть точек составов пород Мутновского вулканического центра по нашим и литературным данным ложатся в поле пород нормальной щелочности, образуя ряд от базальтов до риодацитов (рис. 1). Иногда отмечаются породы повышенной щелочности, представленные трахибазальтами и трахидацитами. На диаграмме видно отчетливое разделение пород по содержанию кремнезема и суммы щелочей на две группы. В первую входят основные и средние лавы, представленные базальтами и андезибазальтами, во-вторую – кислые породы дациты и риодациты. Редкие проявления андезитов, отмеченные на южном и восточном склонах вулканической постройки, занимают по составу промежуточное положение между двумя этими группами пород. По соотношению темпов роста железистости и кремнекислотности эффузивы Мутновского вулкана относятся к толеитовой серии (см. врезку на рис. 1) и лишь незначительная их часть попадает в поле пород известково-щелочной серии. Кислые по составу дацитовые и риодацитовые лавы среди вулканических образований Мутновского вулкана достаточно редки. Большое количество точек пород такого состава на диаграмме обусловлено частотой отбора проб в районе хребтов Отходящий и Клешня и в овраге Опасный. Основная же часть лавовых потоков, бронирующих склоны вулкана, представлена базальтами и андезибазальтами, которые и явились объектом нашего исследования. Полевые наблюдения по разрезам лавовых потоков вулканических построек вулкана Мутновский I-III показали, что в чередовании пород различного состава не отмечается какой-либо определенной закономерности.

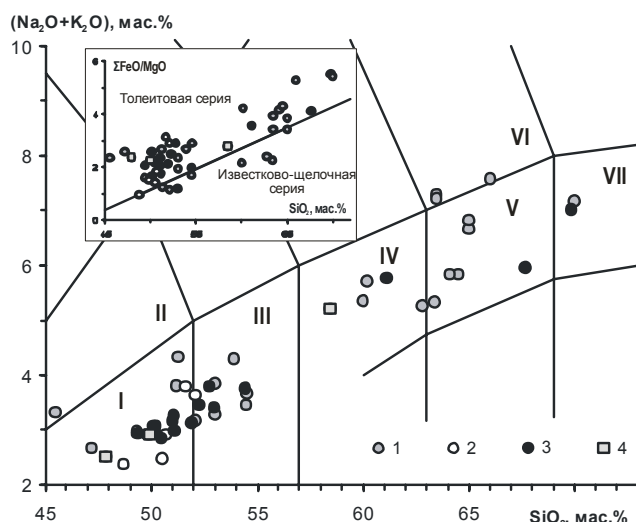


Рис. 1. Классификационная диаграмма $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ для пород Мутновского вулкана. Названия полей: I - базальты; II - трахибазальты; III - андезибазальты; IV - андезиты; V - дациты; VI - трахидациты; VII - риодациты. Данные приведены по: 1 - [Магматизм и..., 1979]; 2 - [Мартынов и др., 1995]; 3-4 - данные авторов (3 - лавы, 4 - дайки). На врезке приведена диаграмма $\text{SiO}_2 - \Sigma\text{FeO}/\text{MgO}$ для тех же пород.

Базальты и андезибазальты стратоконусов Мутновский I-III имеют близкий химический состав и петрографические характеристики. Это породы от серого до темно-серого цвета порфирового облика со стекловатой или мелкозернистой основной массой витрофировой, толеитовой и микродолеритовой структуры. Общее количество фенокристаллов варьирует в широких пределах и может изменяться от 10 до 40 % объема породы. Ассоциация минералов-вкрапленников представлена в них тремя типами: 1- Ol + Pl + Crx; 2 - Ol + Pl; 3 - Pl + Crx.

Вкрапленники оливина в виде идиоморфных кристаллов образуют две генерации или сериальнопорфировые выделения. Содержание вкрапленников изменяется от единичных зерен до 3-5%. Оливин, как правило, не содержит включений, но в единичных случаях в его краевых частях можно наблюдать вросстки мелких (до 0,05 мм) табличек плагиоклаза или округлых выделений стекловатой основной массы, лишенной тонкой сыпи окиснородного минерала, характерной для основной массы описываемых пород. Сам оливин может образовывать округлые выделения в центральных частях крупных порфировых выделений плагиоклаза или микропорфировые выделения, приуроченные к краевым частям фенокристаллов плагиоклаза. Иногда включения оливина отмечаются и в клинопироксене. Плагиоклаз представлен порфировыми и гломеропорфировыми выделениями и образует 2 генерации или сериальнопорфировые выделения. Количество вкрапленников варьирует от 5-7 до 25-30 %. Крупные кристаллы часто имеют оплавленные края и обрастают более кислым плагиоклазом с образованием идиоморфных табличчатых и призматических кристаллов. Согласно литературным данным [Мартынов, Чашин, 1989] состав центральных частей соответствует лабрадору, а краевых – андезину. На границе между ними часто содержатся округлые и амебовидные выделения стекловатой основной массы. Вкрапленники клинопироксена представлены свежими, короткостолбчатыми кристаллами. Их содержание может варьировать в очень широких пределах - от единичных зерен до 5-7% и может достигать 15% объема породы. Порфировые выделения пироксена часто сдвойникованы и иногда образуют гломеропорфировые срастания с плагиоклазом. В краевых участках фенокристаллов клинопироксена иногда заключены микропорфировые выделения плагиоклаза и мелкие кристаллы окиснородного минерала.

Следует отметить наличие в базальтах и андезибазальтах достаточно крупных кристаллов окиснородного минерала, который, судя по формам выделения и отражательной способности, представлен магнетитом или титаномагнетитом и на фоне тончайшей (сотые доли мм) сыпи этого минерала в основной массе смотрится как микропорфировые выделения. Содержание микропорфировых выделений в породе изменяется от единичных зерен до 1%.

Лавы, слагающие фундамент Мутновского вулкана, также представлены базальтами и андезибазальтами. Для них характерна ассоциация минералов-вкрапленников Ol+Pl+Crx, общее содержание которых в породе может достигать 25%. Петрографическое изучение этих пород показало, что по своим текстурно-структурным характеристикам они очень близки к аналогичным породам, слагающим вулканическую постройку и описанным выше. Обращает на себя внимание то, что именно в этих породах обнаружены повышенные содержания V (300 г/т, обр. МТ-26) и аномальные количества Ni (120 г/т) и Cr (460 г/т) (обр. МТ-29), почти на порядок превышающие известные для пород Мутновского вулкана содержания этих компонентов (табл. 1). Именно такие породы и могут являться источниками высоких концентраций указанных компонентов в термальных водах [Бортникова и др., 2007].

Петрографическое изучение базальтов и андезибазальтов позволяет говорить о следующем порядке выделения минеральных фаз в ходе кристаллизации. Первым начинал кристаллизоваться оливин, затем, очень близко к нему по времени плагиоклаз. Эти минералы образуют наиболее крупные фенокристаллы первой генерации. В дальнейшем, к ним присоединяются клинопироксен и магнетит. Наличие в породах большого количества вкрапленников свидетельствует о начале кристаллизации расплава в промежуточной магматической камере.

Проведенное с использованием программного комплекса Комагат [Арискин, Бармина, 2000] моделирование показало, что при кристаллизации расплава, отвечающего среднему составу для базальтов и андезибазальтов вулкана Мутновского, первой фазой на ликвидусе является плагиоклаз, затем кристаллизуется оливин, потом магнетит и низкокальциевый пироксен, что не соответствует реальным соотношениям минералов в лавовых потоках. Порядок появления пироксена и магнетита определяется окислительно-восстановительными условиями. Такая же картина наблюдается при модельной кристаллизации расплава, соответствующего по составу долериту из дайки, обнажающейся в левом борту р. Вулканной (МТ-3).

Таблица 1. Содержание породообразующих и микрокомпонентов в породах Мутновского вулкана.

№	МТ-2	МТ-6	МТ-7	МТ-20	МТ-24	МТ-25	МТ-14	МТ-13	МТ-16	МТ-18	МТ-19	МТ-26	МТ-29	МТ-3	МТ-8	МТ-28
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
K	0,43	0,43	1,15	0,63	0,64	0,59	0,53	0,6	0,71	0,63	0,46	0,58	1,1	0,46	0,39	1,1
Ca	7,30	8,0	6,7	8,0	7,9	8,5	6,50	6,7	8,2	6,3	8,5	8,60	8,1	7,3	8,50	4,3
Ti	0,52	0,69	0,59	0,75	0,65	0,73	0,51	0,81	0,54	0,58	0,54	0,76	0,62	0,74	0,46	0,63
Mn	0,13	0,15	0,12	0,15	0,13	0,13	0,1	0,15	0,13	0,13	0,12	0,16	0,13	0,09	0,09	0,14
Fe	5,70	7,3	6,1	7,6	7,00	7,2	4,6	7,0	6,2	6,40	6,1	8,30	6,80	8,5	5,1	5,40
V	180	260	200	240	200	210	170	210	190	240	190	300	190	280	200	150
Cr	41	-	70	57	82	41	10	6	81	26	24	-	460	30	11	-
Ni	11,0	11,0	28,0	19,0	45,0	29,0	12,0	11,0	20,0	14,0	12,0	14,0	120	21,0	6,9	12,0
Cu	24	140	79	100	110	130	95	100	99	89	71	76	59	57	98	66
Zn	66	110	80	84	80	74	56	83	70	68	73	87	73	61	71	90
Ga	11,0	13,0	12,0	13,0	12,0	13	11,0	13,0	11,0	11,0	13,0	14,0	12,0	14,0	11,0	14,0
Ge	2,20	1,20	2,30	2,1	1,80	2,10	2	2,30	2,0	0,97	1,50	1,9	2,4	2,60	1,20	2,40
Se	-	-	-	0,19	-	-	-	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-
Br	-	-	0,16	-	0,21	0,22	-	0,36	0,54	0,37	0,15	-	0,33	0,98	-	-
Rb	5	4,40	19,0	8,30	7,30	6,50	6,10	6,70	6,3	6,5	5,2	5,70	13,0	6,20	3,80	16,0
Sr	350	380	310	350	340	380	360	360	330	310	440	380	350	370	390	380
Y	18,0	23,0	23,0	25,0	22,0	21	17,0	26,0	16,0	17	18,0	22,0	22,0	23,0	16	33,0
Zr	50	54	100	73	68	55	49	67	52	57	51	52	91	56	34	120
Nb	0,84	0,9	1,7	1,5	1,5	0,93	0,95	0,93	1,0	0,86	0,61	0,65	1,70	0,9	0,34	2,40
Mo	0,37	0,32	0,92	0,55	0,47	0,59	0,36	0,34	0,36	0,55	0,39	0,3	0,74	0,39	0,27	0,64
Ag	0,2	0,42	0,3	0,39	0,35	0,36	0,23	0,25	0,14	0,22	0,29	0,29	0,34	0,42	0,34	0,4
Cd	0,17	0,59	0,28	0,2	0,4	0,19	0,23	0,33	-	0,24	-	0,29	0,29	0,23	0,28	0,36
Sn	0,99	1,40	2,40	1,4	1,2	1,5	3,3	1,4	0,94	1,20	0,98	1	2,1	1,70	0,79	1,50
Sb	0,42	0,23	0,56	0,25	0,38	0,3	0,34	0,34	0,21	0,23	0,43	0,08	0,31	0,21	0,13	0,51
Te	0,15	0,14	-	0,14	-	-	-	0,23	-	-	-	-	-	0,18	-	0,15
I	-	0,29	0,22	-	-	0,19	0,38	0,2	-	0,17	0,21	0,16	-	0,78	-	0,37
Cs	0,49	0,49	1,60	0,66	0,78	0,82	0,46	1,5	0,94	0,61	0,34	0,61	0,6	0,67	0,35	0,95
As	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	8	9,7	11,0	12	10,0	12,0	6,9	11,0	9,5	10,0	9,5	14,0	11	12,0	6,5	14
Th	2,6	2,8	2,4	2,6	2,2	2,3	2,7	2,0	2,3	2,2	2,4	2,4	2,90	2,10	2,1	2,6
U	-	0,56	-	-	0,78	-	-	0,6	-	0,62	-	-	0,9	-	-	1,1
	Б	Б	АБ	Б	Б	Б	Б	АБ	Б	АБ	Б	Б	АБ	Д	Д	Ди

Анализы выполнены в ИГМ СО РАН методом РФА-СИ. Аналитик Колмогоров Ю.П. Содержание К, Са, Ti, Mn, Fe приведено в мас. %, остальных компонентов - в г/т, прочерк означает, что элемент не обнаружен. Породы: Б – базальт, АБ – андезитобазальт, Д – долерит; Ди – диабаз. 1-3 – лавы вулкана Мутновский-III; 4-6 – лавы вулкана Мутновский-II; 7-11 – лавы вулкана Мутновский-I; 12-13 – породы фундамента Мутновского вулкана. 14-16 – дайки, секущие образования вулканической постройки

Наблюдаемая нами в породах вулкана Мутновского последовательность выделения минералов может быть реализована при кристаллизации в качестве исходного базальтового достаточно высокомагнезального расплава. При моделировании был использован состав андезитобазальта (обр. МТ-29) с содержанием MgO 7,47 мас.%. Выбор окислительно-

восстановительных условий определялся присутствием в изученных породах магнетита не только в основной массе, но и в качестве микропорфировых выделений. В восстановленных условиях (буфер MW) магнетит не кристаллизуется в системе. В наиболее окисленных (буфер MH) условиях порядок выделения минералов на ликвидусе следующий. Первыми одновременно кристаллизуются оливин и плагиоклаз, затем с небольшим интервалом появляется магнетит и только после него – авгит, а затем и пижонит. При использовании в расчетах буфера QFM получен наиболее близкий к наблюдаемым в лавах соотношениям минералов порядок кристаллизации: первой фазой на ликвидусе является оливин при температуре 1200°C, затем (1170°C) кристаллизуется плагиоклаз и после этого оливин и плагиоклаз выделяются из расплава совместно. Когда в системе появляется третья фаза – авгит (1125°C), в расплаве уже содержится порядка 25% кристаллов. При дальнейшем понижении температуры до 1090°C кристаллизуются низкокальциевый пироксен (пижонит) и магнетит. Таким образом, наблюдаемым взаимоотношениям минералов в эффузивах вулкана Мутновского наиболее всего отвечает буфер QFM.

Полученный порядок кристаллизации минералов изменяется с ростом глубины магматического очага. При давлении 5 кбар магнетит не появляется на ликвидусе при равновесной кристаллизации, а при давлении 7 кбар изменяется порядок кристаллизации фаз: оливин, авгит, плагиоклаз. При дальнейшем увеличении давления область устойчивости оливина уменьшается и при давлении 10 кбар первой фазой на ликвидусе уже является пироксен. Таким образом, представляется наиболее вероятной глубина питающего магматического очага, не превышающая 15 км.

Из результатов моделирования можно видеть, что, судя по наблюдаемым в основных и средних породах Мутновского вулкана парагенезисам минералов, исходный расплав для базальтов и андезибазальтов был близок к магнезиальному андезибазальту МТ-29. Фракционирование расплава, по-видимому, началось еще в магматической камере. При извержении, в зависимости от количества захваченных расплавом из камеры минералов-вкрапленников, каждая порция магмы приобретала состав от базальтов до андезибазальтов и даже андезитов. Об этом косвенно может свидетельствовать наличие корреляционных связей между количеством в породах порфировых выделений и содержанием петрогенных оксидов. Количество вкрапленников оливина напрямую коррелирует с содержанием магния, а количество вкрапленников плагиоклаза имеет обратную зависимость с содержанием кремния, суммы щелочей и фосфора и прямую – с содержанием алюминия и кальция.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 07-05-00910 и ИП СО-ДВО РАН № 96.

Список литературы

Арискин А.А., Бармина Г.С. Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. М.: Наука, МАИК "Наука / Интерпериодика", 2000. 364 с.

Бортникова С.Б., Шарапов В.Н., Бессонова Е.П. Гидрогеохимический состав источников поля Донного Мутновского вулкана (Южная Камчатка) и проблемы их связи с надкритическими магматическими флюидами // ДАН, 2007. Т. 413. № 4. С. 530 – 534.

Магматизм и гидротермальные системы Мутновского блока Южной Камчатки / Шарапов В.Н., Симбирев И.Б., Третьяков Г.А., Милова Л.В., Васильева А.И. Новосибирск. Наука, 1979. 151 с.

Мартынов Ю.А., Перепелов А.Б., Чащин А.А. Геохимическая типизация базальтоидов Мутновского вулканического поля (Южная Камчатка) // Тихоокеанская геология, 1995, Т. 14. № 5. С. 72-83.

Мартынов Ю.А., Чащин А.А. Породообразующие минералы основных эффузивов Мутновского геотермального района // Новые данные по петрологии магматических и метаморфических пород Камчатки. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 112-128.

Селянгин О.Б. Новое о вулкане Мутновский: строение, развитие, прогноз // Вулканология и сейсмология, 1993. № 1. С. 17-35.