

Минералого-геохимические особенности продуктов фумарольной деятельности кратерной зоны Авачинского вулкана в 2001 г.

Л.П. Вергасова, И.Ф. Делемень, А.А. Овсянников

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: vlp@kscnet.ru

Рассмотрены некоторые минералого-геохимические особенности продуктов фумарольной деятельности кратерной зоны Авачинского вулкана в 2001 г. в связи с проблемой силификации гидротермального резервуара в постройке вулкана перед фреатическим взрывом 05.10.2001 г.

Введение

Традиционно считается, что долгосрочный прогноз типа и параметров будущих извержений Авачинского вулкана возможен на основе использования сведений об исторических извержениях этого вулкана, что было блестяще доказано исследованиями И.В. Мелекесцева при ретроспективном анализе активности Авачи в 1737-1909 и 1926-1991 годах.

Весьма эффективным для среднесрочного и краткосрочного прогноза извержений оказался сейсмический метод. Однако «сейсмические станции не позволили предсказать извержения Авачинского в 1926 г., 1991 и 2001 гг.» [2]. Очевидно, что, по крайней мере, для фреатических извержений необходим дополнительный поиск и разработка новых подходов к их прогнозу.

В работе [3] на основе комплексного изучения Авачинского вулкана, выполненного В.А. Дрозным и соавторами, было сформулировано предположение, что фреатический (гидротермальный) взрыв в 2001 г. на Авачинском вулкане произошёл в результате наличия в недрах Авачинского вулкана «активного гидротермального резервуара».

Также было предположено, что к фреатическому взрыву, возможно, привело осаждение кремнезёма (силификация) в виде полиморфной модификации – кристобалита, выполнявшего поры в блоках пород, выброшенных в процессе активизации вулкана в 2001 г.

Нами предлагается расширить эту концепцию, исходя из результатов сравнительного изучения продуктов фумарольной деятельности Авачинского вулкана до и после фреатического взрыва, произошедшего 05.10.2001 г.

Во время извержения в 1991 г. кратер был полностью заполнен лавой. Наиболее активная фумарольная деятельность была сконцентрирована в узком желобе между лавовой пробкой и гребнем кратера. Необходимо отметить, что расположение фумарол, особенно в юго-западном секторе кратера, соответствовало существовавшим и ранее (до извержения) фумаролам «Серного гребня».

5 октября 2001 г. произошел единичный газовый взрыв, в результате которого лавовая пробка в кратере, сформировавшаяся при предыдущем извержении 13 января 1991 г., была расколота, а все последующие годы в районе кратера наблюдается мощная фумарольная активность.

Исследовались пробы продуктов фумарольной деятельности кратерной зоны Авачинского вулкана, отобранные А.А. Овсянниковым 05.09.2001 г. (Ав-846-1-3, Ав-847) и 17.10.2001 г. (Ав-846-1-3, Ав-847), то есть, до и после взрыва, произошедшего 05.10.2001 г.

Отобранные образцы тщательно просматривались под биноклем, затем анализировались с использованием метода рентгенофазового анализа (аналитик Зеленский М.Е., ИВиС ДВО РАН) и традиционного метода мокрой химии (аналитик В.В. Дунин-Барковская, ИВиС ДВО РАН).

По данным рентгеновских исследований в пробах, отобранных до взрыва, из кристаллических фаз были установлены, в основном, α -кристобалит, тридимит и α -кварц. Зафиксировано также присутствие (в интервале углов 20-40°) аморфной фазы, содержание которой зачастую было преобладающим.

По данным микроскопических исследований в пробах также была установлена рудная фаза (не идентифицирована из-за незначительного содержания и микроскопичности выделений).

Вышеприведенные минеральные новообразования слагают обеленные (сильно пачкают руки) измененные породы (Ав-842-1-3) зоны фумаролопроявления с температурой газа 500 °С.

Штуфная проба Ав-843 была представлена ромбической серой с примесью α -кристобалита.

Результаты исследований проб, отобранных до взрыва, свидетельствуют о концентрации преимущественно соединений кремнезёма в околожерловых фациях измененных пород Авачинского вулкана.

После взрыва на Авачинском вулкане были отобраны пробы Ав-846-1-3 и Ав-847 в западном секторе трещины, сформировавшейся в ходе активизации вулкана, и на юге площадки высокотемпературной фумаролы. Измеренная температура газа 235-350°С.

Результаты минералогических исследований проб, отобранных до и после взрыва, свидетельствуют о том, что в основной своей массе они идентичны, большую часть из них составляют продукты измененных околожерловых фаций (по типу сернокислотного выщелачивания), отражающие вынос вещества из породы большинства петрогенных и рудных компонентов и концентрации на месте кремнезема.

Отличительной особенностью проб минеральных новообразований, отобранных после взрыва, является присутствие свежего пеплового материала (продукты дробления окружающих пород), осаждение галоидных соединений, находки водных и безводных сульфатов кальция (гипс, ангидрит).

Рентгеновским методом была также установлена рудная фаза черного цвета с отчетливым металлическим блеском, представленная маггемитом γ -Fe₂O₃ (Ав-846-1а). Для подтверждения результатов рентгеновских исследований необходимо определение магнитной восприимчивости и цвета черты, что не представлялось возможным из-за незначительных размеров рудных частиц.

Обращает на себя внимание проба Ав-846-3, которая при поступлении для лабораторных исследований имела облик влажной скрытокристаллической тонкодисперсной массы кремовато-белого цвета.

По данным рентгенофазового анализа в пробе были установлены аморфная фаза и α -кристобалит. Химический анализ пробы представлен в таблице.

При растирании на химический анализ проба приобрела облик сметаноподобной массы, а в процессе хранения затвердела до камнеподобного состояния, что наблюдается при тиксотропии, когда происходит превращение вещества в жидкое состояние и наоборот, позволяющее сжиженной массе вновь обрести жесткость, едва оставляют её в покое.

Позднее, с использованием сканирующей электронной микроскопии (SEM TESKAN "Vega3" с энергетическим спектрометром X-MAX50 (Oxford)) проводились дополнительные исследования проб, отобранных после взрыва.

При этом было установлено незначительное присутствие в пробах фтора, а также Fe, Pb, Bi, Se, As, что наряду с хлором (таблица) говорит о подтоке магматогенных флюидов в процессе активизации Авачинского вулкана 05.10.2001 г.

Таблица. Химический состав измененных пород и новообразований в пробах, отобранных в период 09.2001-10.2001 гг. (в % мас.)

Компоненты	Ав-842-1	Ав-842-3	Ав-846-1а-в	Ав-846-2	Ав-846-3
SiO ₂	91.60	85.84	28.32	46.90	79.26
TiO ₂	0.71	0.56	0.41	0.78	3.84
Al ₂ O ₃	1.79	3.46	9.90	10.62	1.88
Fe ₂ O ₃	0.00	1.90	3.28	2.40	0.33
FeO	0.28	0.90	2.87	2.87	1.29
MnO	0.22	0.21	0.23	0.24	0.23
MgO	0.60	1.30	2.34	2.86	1.98
CaO	0.66	0.66	5.34	7.82	0.78
Na ₂ O	0.18	0.78	2.14	2.16	0.10
K ₂ O	0.30	0.34	0.48	0.50	0.00
H ₂ O ⁻	0.48	0.33	2.20	4.80	1.99
H ₂ O ⁺	-	-	-	-	-
П.п.п.	2.80	3.80	-	1.80	7.90
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.06	0.02	0.02
SO ₃	0.00	0.00	7.90	6.94	0.00
Cl	0.00	0.00	5.18	1.60	0.00
S _{эл.}	0.20	-	30.28	7.76	0.46
NH ₃	-	-	0.20	-	-
O=Cl ₂			-1.14	-0.35	
Сумма	99.82	100.08	99.99	99.72	100.06

Обсуждение результатов

В работе [3] было показано, что фреатическое извержение вулкана, происшедшее 5.10.2001 г., обусловлено процессами тепломассопереноса в гидротермальном резервуаре, расположенном в недрах вулканической постройки. Авторы предложили называть этот резервуар активным [4], т.к. в нем наблюдаются процессы локальной сейсмичности, предположительно связанные с деформациями гидроразрыва в резервуаре. Сейсмическая активизация резервуара коррелируется с изменениями фумарольной активности Авачи. По их данным, обусловленные процессами в активном резервуаре землетрясения, зарегистрированные в период извержения вулкана в октябре 2001 г., сосредоточены в верхней части конуса в радиусе около 1 км.

Фреатический взрыв происходит, когда давление водного-газового флюида превышает прочность пород, слагающих кровлю резервуара (кепрок). Известно также, что прочность кепрока возрастает, когда в гидротермальной системе, помимо первичного, формируются один или несколько вторичных водоупоров, особенно в результате силификации – кольматации (заполнения) трещин и пор выпадающим из гидротермального раствора кремнеземом.

Мы предполагаем, что одним из возможных источников соединений кремнезёма, в том числе аморфного кремнезёма, могут быть продукты фумарольной деятельности кратерной зоны Авачинского вулкана. Продукты эксгаляций вулкана в основной своей массе представлены в виде скрытокристаллической тонкодисперсной фазы, которая легко отделяется при незначительном механическом воздействии. Из зоны флюидно-газовой разгрузки фазы кремнезёма под влиянием атмосферных агентов – дождевая вода, снег, туман – могут транспортироваться в нижние горизонты конуса, например, в «активный гидротермальный резервуар» [2].

В ряду кварц-халцедон-β-кристобалит-α-кристобалит-аморфный кремнезём растворимость аморфного кремнезёма в воде при одной же той же температуре возрастает [1]. Так, если при температуре 200 °С в водный раствор (в том числе в паровой фазе) переходит ~275 мг кварца на 1 кг воды, то аморфного кремнезёма – в 3.5 раз больше (~950 мг). Поступая в активный резервуар, в котором по [4]

наблюдаются процессы локальной сейсмичности, может произойти заполнение тонкодисперсными фазами кремнезёма мелких трещин, а также других подводящих каналов, образующихся при тектонических подвижках. При закупорке трещин повышаются температуры, которые могут способствовать изменению плотностных характеристик дисперсного вещества в сторону уплотнения (в лабораторных условиях уплотнение тонкодисперсных фаз кремнезёма пробы Ав-846-3 до камнеподобного состояния произошло при комнатной температуре и за относительно короткое время). В течение длительного времени (в нашем случае в течение 10 лет, с 1991 по 2001 гг.), таким образом, возможно, происходило кальматирование газовых выходов. Когда давление под «крышкой», роль которой играет лавовая пробка, достигло достаточно высоких значений, произошёл взрыв.

По устному сообщению А.А. Овсянникова, количество вещества пробы Ав-846-3 было существенным. Отложения пробы наблюдались по склону в направлении к Корьякскому вулкану и, похоже, были выброшены из недр вулкана в ходе активизации. Подтверждением этого может служить высокое содержание титана в его составе. По данным количественного химического анализа, проба Ав-846-3, в отличие от аналогичных, отобранных до взрыва в поверхностных условиях, содержит повышенное содержание TiO_2 ~4 % масс (против менее ~1 % масс.). Низкая теплопроводность титана способствует его накоплению. Относительно высокое содержание TiO_2 может свидетельствовать о значительных температурах, сопровождающих процесс силификации в недрах вулкана.

Известно, что в сольфатарных системах вулканов важнейшей геохимической особенностью изменения лав андезитового состава под воздействием кислых сернистых растворов является обогащение системы титаном и аморфным кремнеземом (опалолиты) [5]. Следовательно, поликонденсация и старение отложившегося тонкодисперсного аморфного кремнезёма приводит к формированию титансодержащего опалолитового кепрока в недрах вулканической постройки.

Список литературы

1. Белоусов В.И., Рычагов С.Н., Фазлуллин С.М. и др. Кремнезем в высокотемпературных гидротермальных системах областей современного вулканизма // Экологическая химия. 1998. Т. 7. Вып. 3. С. 200-216.
2. Гирина О.А., Озеров А.Ю., Мельников Д.В., Маневич А.Г. Вулкан Авачинский: мониторинг и основные характеристики извержений // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 28-29 марта 2019 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 11-14.
3. Дроздин В.А., Дубровская И.К., Кирюхин А.В. и др. Диагностика геотермального резервуара Авачинского вулкана по фумарольной активности и сейсмологическим данным // Взаимосвязь между тектоникой, сейсмичностью, магмообразованием и извержениями вулканов в вулканических дугах. Материалы IV международного совещания по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский. 21-27 августа 2004 г. Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2004. С. 37-39.
4. Кирюхин А.В., Корнеев В.А., Поляков А.Ю. О возможной связи сильных землетрясений с аномальными изменениями давления в двухфазном геотермальном резервуаре // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 3-11.
5. Потапов В.В., Сердан А.А., Каипура В.Н., Горбач В.А. Кинетика поликонденсации ортокремниевой кислоты в гидротермальном растворе // Журнал физической химии. 2007. Т. 81. № 10. С. 1897-1901.