

К вопросу о прогнозе извержений вулкана Авачинский (Камчатка)**Я.Д. Муравьев***Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: murjd@kscnet.ru*

Задача прогноза извержений вулканов остается актуальной и далеко не решенной, а предсказания редко бывают успешными. В нашем сообщении остановимся на прогнозе извержений вулканов, который опирается на взаимодействие вулканизма и климата. Подобный подход наметился в результате анализа особенностей эффузивно-эксплозивного извержения вулкана Авачинский в январе 1991 г. Он основан на мониторинге климатических/метеорологических индикаторов, аномалии которых могут создавать условия, благоприятные для подъема магмы к дневной поверхности.

Краткий обзор состояния вопроса. Если проследить развитие представлений о причинах вулканизма как общепланетарного процесса, то эпохи активной вулканической деятельности связываются чаще всего с космическими факторами, а через них, в конечном счете, с глобальным климатом и материковыми оледенениями. Отмечается их синхронность во времени, и часто трудно однозначно ответить, что начинается ранее другого. Обычно ищут связь в направлении влияния вулканизма на оледенение и климат. В то же время климат, через земную атмосферу, очевидно, первым из экзогенных природных процессов трансформирует через себя космические воздействия посредством влияния геомагнитных бурь на глобальное атмосферное давление [4, 5 и др.], лунно-солнечный прилив, и т.п. Можно предположить, что наиболее явно связи между климатом и вулканической деятельностью можно ожидать в случае фреатических и фреато-магматических извержений вулканов с неглубоко залегающими периферическими очагами. Такой тип извержений характерен в первую очередь для вулканов с кислой магмой. Они инициируются инъекциями метеорных или подземных вод и, обычно, представляют наибольшую опасность для прилегающих окрестностей. Типичным таким вулканом является Авачинский.

Физическая модель вулкана. В январе 1991 г. произошло последнее извержение вулкана Авачинский [3], первые взрывы которого имели фреатический и/или фреато-магматический генезис. Из морфологических особенностей строения вулкана Авачинский отметим следующие: постройка вулкана несет современное оледенение, а многолетнемерзлые породы бронируют молодой конус с юга до высот около 1000 м над у.м.; вершинный кратер служит природным осадкомером с приемным отверстием диаметром порядка 450 м, а вулканогенный материал на его днище характеризуется хорошими инфильтрационными свойствами; кратер вулкана является открытой системой с рассредоточенным мощным потоком тепла в атмосферу в виде фумарольных струй и парящих площадок суммарной мощностью до 30 МВт в межэруптивный период [3].

Таким образом, физическая модель вулкана представляется в виде "теплового котла", который имеет стенки, бронированные ледовыми и мерзлотными отложениями. В кратер, по нашим измерениям в области питания ледников Заварицкого и Новограбленова, занимающих атрио вулкана, в среднем ежегодно поступает до 2300 мм твердых осадков в виде снега. Эти осадки частично испаряются обратно в атмосферу, а другая часть инфильтруется в постройку.

Влияние метеорологических параметров на извержения Авачинского вулкана. Очевидно, что для выявления наличия какой-либо значимой связи между климатом и деятельностью вулкана необходимо иметь достаточно кондиционные ряды длительных наблюдений того и другого объектов исследования. Для нашего района это условие в целом выдержано (по крайней мере, для XX в.): активно действующий

вулкан Авачинский (7 извержений с 1894 г. по 1991 г.) с ярко выраженными морфологическими особенностями и достаточно стабильно работавшие гидрометеорологические станции г. Петропавловска-Камчатского в 1891-2000-х гг.

Наиболее яркими характеристиками климата, по которым, в основном, выполняется оценка климатической изменчивости, являются температура воздуха, осадки и атмосферное давление. Они во многом взаимосвязаны, а главные различия их лежат в сезонности и характере воздействия на подстилающую поверхность. Изменения климата в районе г. Петропавловска-Камчатского за период стандартных метеорологических наблюдений на сегодня изучены нами сравнительно неплохо [1]. Совместный анализ рядов этих наблюдений с началом исторических извержений показал (рис. 1), что они происходили, в основном, в зимне-весенние сезоны после положительных аномалий летних температур в предыдущий год.

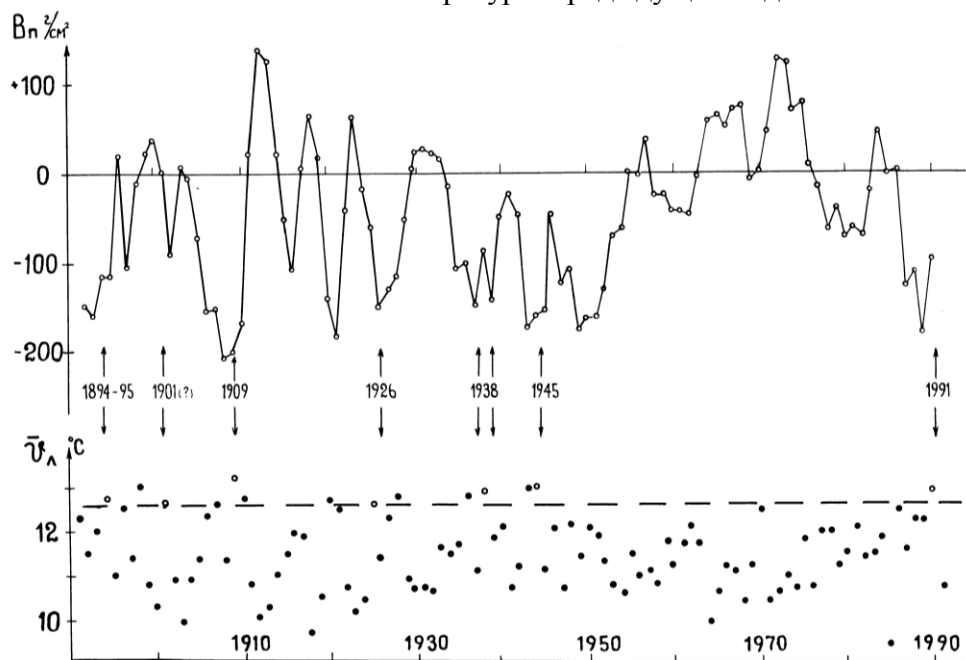


Рис. 1. Балансовая кривая тепла и влаги в кратере вулкана Авачинский (на примере климатического индекса баланса массы ледника Козельский). Скользящее сглаживание по 7 годам. Стрелками выделены годы извержений вулкана. $v_{л}$ – средняя летняя температура воздуха на гмс "Петропавловск-Камчатский" в 1891-1991 гг. (пунктиром показано пороговое значение температуры – ≥ 12.6 °C).

На график реставрированного по данным гмс "Петропавловск-Камчатский" климатического индекса баланса массы ледника Козельский, который в первом приближении можно отнести и к высоте кратера, были нанесены периоды извержений вулкана. Из него видно, что:

1. Извержения следуют за годами с резкоотрицательным балансом массы влаги, приходящей в кратер вулкана.
2. По суммам осадков совпадений 4 из 7 (4 извержения в годы с дефицитом осадков).
3. По летней абляции на леднике за предшествующий сезон совпадений 6 из 7. То есть, летнее таяние снега и льда в кратере – более упреждающий параметр, чем осадки. Баланс массы, естественно, следует за абляцией (летними температурами).
4. Аномально высокие температуры летнего сезона: порог для гмс "Петропавловск-Камчатский" $t \geq 12.6$ °C (рис. 1). Т.к. отрицательные годы нередки, но извержения происходят не каждый раз, то логично предположить, что извержения происходят в периоды резко отрицательного гидрологического баланса в кратере (i) и корректируются атмосферными осадками (ii). Так, из 12 лет с температурой воздуха

более порогового значения только в семи случаях происходили эруптивные события. В других пяти было повышенное количество осадков, и активизаций вулкана не отмечалось. Корректировка этой величины происходит за счет поступления атмосферных осадков в кратер.

5. Обращает на себя внимание и тот факт, что чем отрицательней баланс в многолетнем разрезе, тем меньше длится период покоя вулкана и чаще происходят его извержения, и наоборот (см. ряд извержений 1909-1991 гг.).

Следующим шагом было рассмотрение метеорологических условий на уровне кратера, на примере хода атмосферного давления (рис. 2). В результате оказалось, что необходимыми условиями для срабатывания фреатического триггера извержений Авачинского вулкана являются аномально глубокие и резкие колебания барического поля, существенным дополнительным фактором которым могут быть нарастающие атмосферные осадки в кратере, приводящие к увеличению градиента давления в системе порода-пар-атмосфера.



Рис. 2. Некоторые метеорологические приложения к дате начала извержений вулкана Авачинский в 20-м столетии: ход атмосферного давления в периоды, предшествующие и сопровождавшие извержения вулкана Авачинский. Красные квадратики – сизигии лунного прилива, черные – сроки извержений.

Из изложенного видно, что вынос тепла в межэруптивный период происходит, в основном, за счет фумарольной деятельности, и только в годы с дефицитом поступающей метеорной влаги в кратере аккумулируется дополнительное тепло, не реализованное на испарение, а идущее на прогрев вмещающих пород. Но подготовленная ситуация остается в квазистационарном состоянии еще какое-то время, до создания дополнительных усилий, которые смогут вывести внутрикратерную геотермальную систему из неустойчивого равновесия. По нашему мнению, это могут быть аномалии в перепадах атмосферного давления при прохождении над полуостровом глубоких циклонов, которые также, по-видимому, могут вызывать

дополнительный прогрев "пробки" на дне кратера и стимулировать взрывные события фреатического или фреато-магматического характера.

Если допустить, что магматический резервуар находится в квазиравновесном состоянии, то изменение внешних условий может его нарушить. При изменении внешних условий в сторону понижения давления, выделение газа ведет к дополнительному падению давления и соответствующему росту неравновесности. В таком случае, по данным рис. 2, необходимым условием начала формирования фреатического взрыва является глубокий перепад P_0 порядка 30 мб и более, сопровождаемый осадками в виде снега (чаще мокрого) или обледенения. Это приводит к образованию "крышки", слабо проницаемой для выхода тепла от вулкана и создающей дополнительно крутой градиент давления во вмещающих породах. Быстрое парообразование, усиленное закупоркой свободного воздухообмена, явилось спусковым механизмом фреатического взрыва. Резкий сброс даже того небольшого давления вызывает вскипание большого объема грунтовых вод в пачке мощностью до 10 м и взрывообразный выброс пара, с последующим развитием обычного сценария фреатического извержения [2]: резкий сброс воды к вскрывшемуся жерлу или в трещину, еще более мощный взрыв, дальнейшее углубление канала или возбуждение верхушки магматической колонны, с переходом к фреато-магматическому извержению.

Таким образом, последовательно рассмотрен возможный механизм реакции вулкана на климатические аномалии посредством срабатывания воды в отложениях на дне кратера, формирующей геотермальный резервуар. Для Авачинского вулкана отмечается хорошая связь начала его извержений с метеорологическими характеристиками. Причем имеются предпосылки как для среднесрочного (5-7 месяцев), так и краткосрочного прогноза возможного извержения (1-5 суток).

Среднесрочный прогноз (i) основывается на выявленной закономерности следования извержений за аномально теплыми летними сезонами, фиксируемыми на метеорологической станции г. Петропавловска-Камчатского (средняя температура лета выше 12.6 °С, при норме 11.4). Вероятность начала извержения вулкана в конкретный год зависит от баланса тепла и влаги в кратере; чем больше вулканического тепла расходуется на испарение поступающей в кратер метеорной воды, тем меньше вероятность извержения. Резкоотрицательный баланс массы свидетельствует о дефиците воды в постройке вулкана и нереализованном на ее испарение вулканическом тепле. В результате этого фронт прогрева смещается ближе к дневной поверхности в более увлажненные горизонты внутрикратерных отложений, создавая предпосылки к развитию вторичного (фреатического) взрыва.

Краткосрочный прогноз (ii) опирается на механизм развития фреатических взрывов в кратере вулкана под влиянием перепадов атмосферного давления, корректируемых гляциометеорологическими факторами. Фреатические взрывы "включают" эндогенный источник магматического извержения. По-видимому, посредством стимулирования дегазации верхушки магматической колонны (или кровли промежуточного магматического очага?!).

Список литературы

1. *Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д.* Ледник Козельский (Авачинская группа вулканов) / СПб.: ГИМИЗ. 1992. 119 с.
2. *Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д., Никитина И.М., Саламатин А.Н.* О механизме формирования фреатических взрывов при взаимодействии лавы и льда // Вулканология и сейсмология. 1987. № 1. С. 56-61.
3. *Дроздин В.А., Муравьев Я.Д.* Энергетический и экологический аспекты извержения вулкана Авачинский на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1994. № 4. С. 3-20.
4. *Мустель Э.Р., Чертопруд В.Е., Хведелиани В.А.* Геомагнитные бури изменяют давление атмосферы // Природа. 1977. № 12. С. 127-128.
5. *Hardarson B.S., J.G.Fitton.* Nature, 1991. V. 353, N. 6339. P. 62.