

ASPECTS OF CONDUIT FLOW REVEALED BY SECTOR-COLLAPSE VOLCANISM: EXAMPLES FROM BEZYMIANNY AND MOUNT ST HELENS

John Eichelberger¹ and Olga Girina²

¹*Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK, USA*

²*Institute of Volcanology and Seismology, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

Conduits present a complex dynamical problem, because the properties of magma comprising the contained magma column must vary dramatically from source to surface. Indeed, to maintain an intact magma column with ascending flow requires a delicate balance of forces. Too fast an ascent, and degassing cannot keep up with decompression. Fragmentation begins in the upper portion of the column to produce an explosive eruption. Too slow an ascent, and degassing will force sufficient crystallization for the magma to “lock up” and freeze in place.

Dense (bubble-poor) magma cannot rise buoyantly at shallow depth. Even though such magma is less dense than its solid rock equivalent, in reality the density relation is reversed because of the high void fraction within the volcanic edifice. Such magma must be pushed by the buoyancy of the magma behind it and/or overpressure in the source chamber. But it is too simplistic to calculate the source depth by asking how long must the conduit be to balance the pressure of the adjacent crustal column. The major additional variable, indeed probably the most important one in the case of volcanoes like Klyuchevskoy where melt density is high and the edifice tall, is bubble content. Magma rises not only because of overpressure in the source chamber and buoyancy due to low melt density but also because of buoyancy due to vesiculation within the magma column. This is analogous to “air lift” in a water well, where air is injected at depth in the water column, or to the pumping action of a coffee percolator. The magma flow is self-sustaining because gas evolving from the magma itself.

Sector-collapse eruption episodes, as exemplified by Bezymianny and Mount St Helens volcanoes, comprise a dynamically unusual situation in which a magma conduit is shortened by $\sim 10^3$ m in a time span of seconds and then partially restored over a period of tens of years. Eruptive behavior during these episodes provides an opportunity to investigate aspects of magma flow in the conduit.

Catastrophic removal of the edifice produces orders of magnitude faster rates of magma decompression than are possible through magma ascent. Instead of moving magma to the surface, the surface is moved to magma. Without such exceptional rates of decompression, a cryptodome that is already substantially degassed during intrusion would likely not explode.

Once the collapse and blast events have occurred, the dynamics of the system are fundamentally changed. Magma in the conduit and source reservoir respond with explosive eruption of exceptional size because of the $\sim 20 - 30$ MPa pressure drop within the conduit. Eventually, some of the new overpressure in the magma chamber is relieved and the resulting slower ascent rate leads to transition to effusive volcanism. Still, magma flux is high, and so a dome grows that becomes much larger in size than is normal for the volcano.

The growth of a dome within the confines of a sector collapse crater creates another unique situation, in which the height of the magma column is rapidly extended. One can imagine that the underlying magma system is a pump, capable of delivering a certain pressure at the level of the crater floor. If the pump is unchanged by collapse and eruption events, then it can continue to deliver about 20 - 30 MPa pressure at crater floor level, which will be compensated by about a 10^3 m growth in the magma column above that floor. It may not be unreasonable to think of these volcanoes as “trying” to restore their former grandeur, at a growth rate that is initially much higher

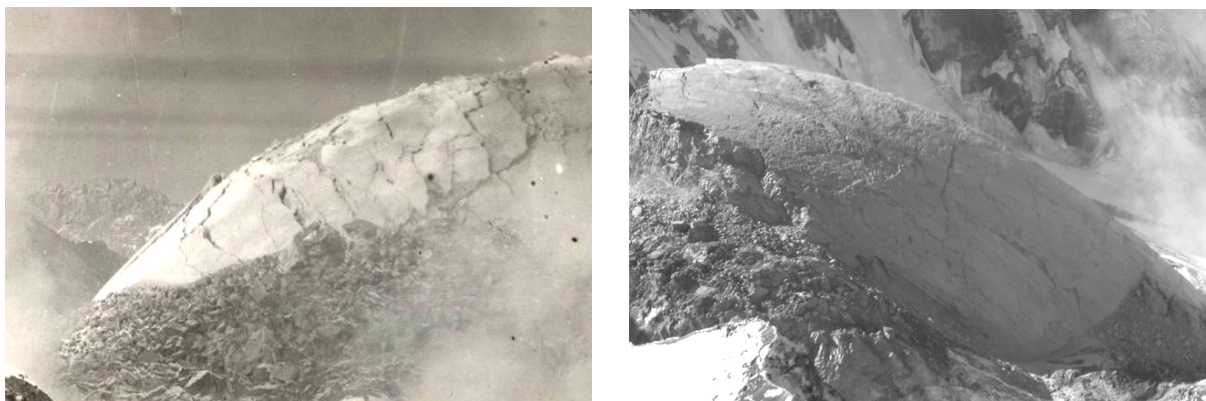


Fig. 1: The Nautilus of Bezymianny (Kirsanov, 1967) and Whaleback of Mount St Helens (Eichelberger, 2005).

than normal edifice growth. The period of high magma flux may be prolonged by partial collapse of the dome as has occurred repeatedly at Bezymianny, or by opening of a new lower elevation vent beside a previous dome as occurred at Mount St Helens in 2004.

A remarkable phenomenon at both volcanoes is the steady-state extrusion of solidified plugs enveloped in fault gouge, independently named “Nautilus” at Bezymianny (1966) and “Whaleback” (2004-present) at Mount St Helens. These appear to be end-member cases where downward velocity of a crystallization front due to water loss equals upward velocity of flow, with the solid uppermost column pushed by buoyant magma below it and lubricated with fault gouge.

ПОВЕДЕНИЕ МАГМЫ В КАНАЛЕ ПРИ СЕКТОРНОМ ОБРУШЕНИИ ПОСТРОЙКИ НА ПРИМЕРЕ ВУЛКАНОВ БЕЗЫМЯННЫЙ И СЕНТ-ХЕЛЕНС

Джон Айкельбергер¹, Ольга Гирина²

¹ *Аляскинская вулканологическая обсерватория Геофизический Институт, Университет Аляски, г. Фэрбенкс*

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

Магматические каналы представляют собой сложную динамичную систему, так как в процессе подъема от источника к поверхности свойства магмы резко изменяются. При слишком быстром подъеме магмы по каналу ее дегазация не успевает за изменением давления. В верхней части колонны магмы начинается фрагментация материала и происходит эксплозивное извержение. При слишком медленном подъеме магмы, дегазация вызывает раскристаллизацию магматического вещества, еще более замедляющую ее движение.

Эпизоды, связанные с обрушением секторов построек вулканов при извержениях, как например, на вулканах Безымянный и Сент-Хеленс, включают динамику необычных ситуаций, при которых в течение нескольких секунд длина магматической колонны сокращается на $\sim 10^3$ м, затем частично восстанавливается в течение десятков лет. Эруптивное поведение вулкана во время таких эпизодов даёт возможность исследовать аспекты магматических потоков в канале.

Катастрофическое удаление части постройки вулкана приводит к значительно более быстрой декомпрессии магмы по сравнению с возможной при

обычном ее подъеме. Вместо того, чтобы перемещать магму к поверхности, поверхность перемещается в магму. Без таких значимых величин декомпрессии, вероятно, криптокупол не взорвался бы, тем более что он был уже существенно дегазирован в течение времени внедрения в постройку вулкана.

Как только произошли события обрушения и взрыва постройки вулкана, динамика магматической системы существенно изменяется. Падение давления в магматическом канале на ~20 - 30 МПа приводит к взрывному извержению исключительного размера. Возможно, некоторое новое избыточное давление в магматической камере снижается, замедление подъема магмы к поверхности приводит, в результате, к переходу к эффузивному вулканизму. Однако, поток магмы высок, и в взрывном кратере растет лавовый купол, который становится намного большим по размеру, чем, если бы такой купол рос на вулкане при нормальных условиях.

Замечательное явление было обнаружено на обоих вулканах – выдавливание на поверхность экструзий, затвердевание которых произошло уже в магматическом канале, независимо названных «Наутилус» на вулкане Безымянный (1967) и «Спина кита» (2004 – настоящее время) на вулкане Сент-Хеленс (рис. 1). Они, возможно, появились на поверхности земли, когда сниженная в связи с потерей воды скорость фронта кристаллизации магмы равнялась скорости подъема потока магмы, закристаллизованного в верхней части.