

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕННОГО ВЗРЫВА ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ В 1956 г.

Н. Артемьева¹, А. Белоусов^{2,3}, Б. Войт⁴, М. Белоусова³

¹Институт Динамики Геосфер РАН, Москва, 119334, Россия. e-mail: artemeva@psi.edu,

²Институт Морской Геологии и Геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия,
e-mail: belousov@mail.ru

³Институт Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск, Россия

⁴Пенсильванский Университет, США

Введение

30 марта 1956 г. на вулкане Безымянный произошел катастрофический направленный взрыв, спровоцированный оползнем части вулканической постройки объемом 0.5 км³. Причиной взрыва была декомпрессия близповерхностного магматического тела (криптокупола), сформированного во время докульминационной стадии извержения. В результате направленного взрыва образовалась мощная пирокластическая волна, которая распространилась на восток от кратера, охватив подножье вулкана площадью 500 км². Толщина отложений пирокластической волны направленного взрыва колеблется, в целом уменьшаясь с расстоянием от вулкана, от 2.5 м до 4 см на границе отложений. Объем отложений направленного взрыва оценивается в 0.2-0.4 км³ [1]. Образование подобных пирокластических волн наблюдалось на вулканах Сент-Хеленс в 1980 г. и Монтсеррат в 1997 г.

Пирокластические волны представляют собой суспензионные потоки относительно низкой концентрации, в которых частицы перемещаются турбулентно под влиянием сил гравитации. Они формируются в результате коллапса колонн плинианских извержений, в ходе фреатомагматических извержений и в результате направленных взрывов. Типичные скорости распространения пирокластических волн, как правило, менее 300 м/с, температуры - менее 300°K (у «влажных» волн) и не более 1000°K (у «сухих» волн), соотношение твердой составляющей к газу составляет от 5 до 50, размер пирокластических частиц редко превышает несколько сантиметров, а содержание тонкой фракции (микронны) обычно плохо определено. Важными чертами пирокластических волн являются: отложение материала на большей территории, чем при баллистическом выбросе, и формирование отложений, состоящих из нескольких слоев пирокластики.

Методы исследования

Мы провели моделирование высокоскоростного движения и последующего отложения пирокластического материала при направленном вулканическом взрыве с использованием гидрокода SOVA [3], дополненного уравнениями состояния для геологических материалов ANEOS (Analytical Equation Of State) [4]. SOVA – это комплекс программ, позволяющий решать трехмерные уравнения газовой динамики. Программа предназначена для описания высокоскоростных, высокоэнергетических процессов, характеризующихся сильными разрывами (например, ударные волны). Предусмотрено также аккуратное описание границ между несколькими несмешивающимися веществами (т.е. ограничение численной диффузии). В течение последних восьми лет программа успешно используется для численного моделирования ударных событий, а недавно была адаптирована для описания вулканических явлений. Движение твердых или жидких частиц в облаке взрыва описывается в рамках двухфазной гидродинамики: каждый выброшенный обломок (или представительная частица) характеризуется своими индивидуальными параметрами (масса, плотность, положение и скорость) и обменивается импульсом и энергией с окружающим газом (смесь водяного пара с воздухом). Турбулентная диффузия и вязкость приняты во внимание в упрощенном виде [5].

Численный метод, использованный в этом исследовании, существенно отличается от методов, применявшихся ранее, в которых выброшенный материал описывался как газ со специфическими свойствами [2, 5]. А именно, SOVA описывает индивидуальные частицы и их взаимодействие с газом, что позволяет нам варьировать в широких пределах размеры частиц (от нескольких метров до нескольких микрон) и сравнивать моделируемые отложения с геологическими данными о реальных отложениях направленного взрыва (толщина отложений, гранулометрический состав). Существенное преимущество нашей модели – это её трехмерная геометрия, позволяющая моделировать асимметричный вулканический выброс – направленный взрыв. В то время как крупные частицы (размером в мм - см) откладываются на близких расстояниях от вулкана (в этом случае возможно непосредственное сравнение геологических данных и результатов моделирования), мелкие частицы остаются взвешенными в атмосфере в течение более длительного времени, формируя отложения дальней зоны или облака пыли.

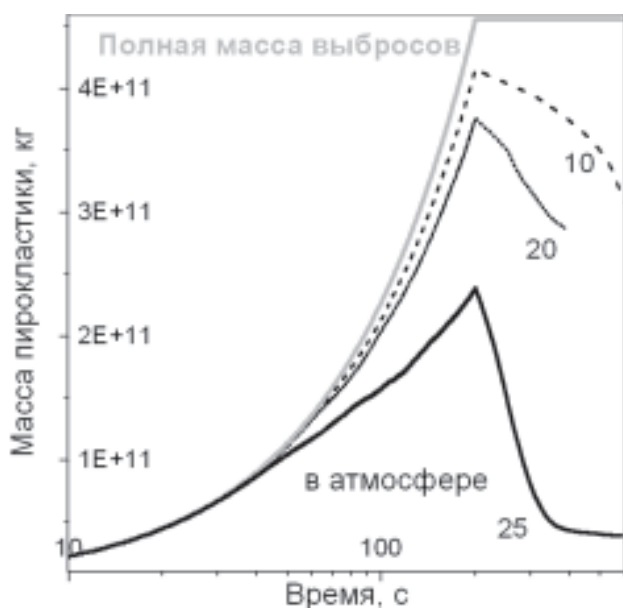
Наша модель ограничивается рассмотрением смеси пирокластики и газа, в которой прямыми взаимодействиями между частицами можно пренебречь из-за низкой объемной концентрации частиц.

Результаты

Непосредственных детальных наблюдений направленного взрыва на вулкане Безымянный в 1956 г. нет, однако можно использовать данные геологических исследований отложений на Безымянном и данные наблюдений извержения на Сент-Хеленсе, так как оба взрыва похожи по своей продолжительности, области воздействия и отложениям. Поток газа (водяного пара), нагруженный пирокластическими частицами размером от 15 микрон до 3.2 см выбрасывается из жерла диаметром 600 м со скоростью 100-200 м/с под углом 45° к горизонту. Частицы и газ находятся в термодинамическом равновесии при температуре 1000 - 1200°K. Массовое отношение частиц и газа составляет 10 - 25. Выброс пирокластики с постоянным расходом 4.6×10^9 кг/с продолжается в течение 200 с, общий объем изверженных продуктов составляет 0.15-0.2 км³, в соответствие с геологическими данными.

Общая масса образующихся отложений зависит от массового отношения между частицами и газом: при самом высоком отношении 25 около 80% изверженного материала откладывается в течение первых 10 мин, в то время как при более низких отношениях за это время происходит отложение только 1/3 выброшенного материала (рис. 1). Остальная часть остаётся взвешенной в атмосфере в течение ещё многих минут: отложение этих (как правило, очень мелких частиц) будет определяться местными погодными условиями (скоростью и направлением ветра).

Площадь отложений, полученная по результатам моделирования, распространяется



на 20-40 км от кратера и имеет ширину 10-15 км, что хорошо согласуется с геологическими данными. Толщина отложений меняется от нескольких метров до неопределенно малых значений на границе отложений (рис. 2).

Стратиграфия моделированных отложений сравнима с их геологическим описанием, хотя идентификация отдельных слоев в модели не является очевидной. Отложения слоя А плохо сортированы и состоят из частиц, значения медианного диаметра которых близки к

Рис. 1. Изменение количества частиц в атмосфере со временем для различных соотношений частицы/газ (числа рядом с графиками). 10-20% изверженной тefры остается в атмосфере в течение нескольких минут.

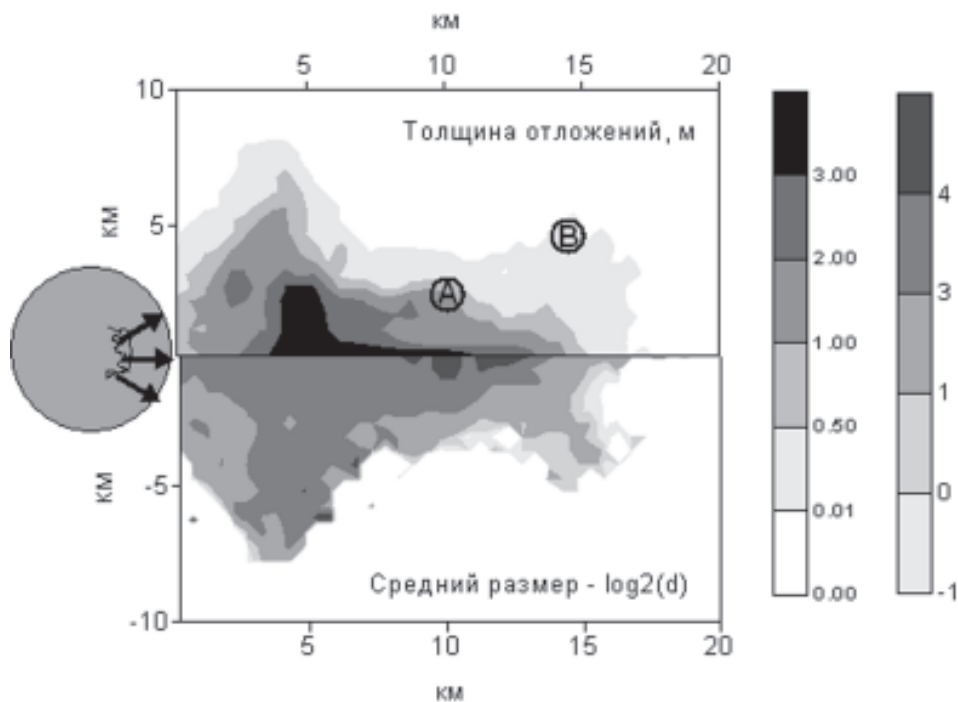


Рис. 2. Изменение мощности отложений и среднего размера частиц с расстоянием от источника. Данные получены в результате моделирования.

усредненным значениям вблизи жерла. Скорость частиц в слое А достаточно высока (50-100 м/с), чтобы эродировать почву. Отложения слоя В хорошо сортированы по размерам, и скорость отложения частиц в этом слое невелика (рис. 3).

Выводы

Пробные расчеты параметров пирокластических волн, возникающей при направленном вулканическом взрыве, основанные на геологических наблюдениях и изучении отложений классических извержений вулканов Безымянный в 1956 г. и Сент-Хеленс в 1980 г., продемонстрировали работоспособность предложенного численного метода. Таким образом, численное моделирование может оказаться полезным для понимания механизмов эксплозивных извержений и предсказания их возможных последствий.

Работа выполнялась при поддержке фонда гражданских исследований и развития (CRDF), грант RG2 –2540-PZ-03.

Список литературы

1. *Belousov A.* Pyroclastic deposits of March 30, 1956 directed blast at Bezymianny volcano // *Bull Volcanol.* 1996. V. 57. P. 649-662.

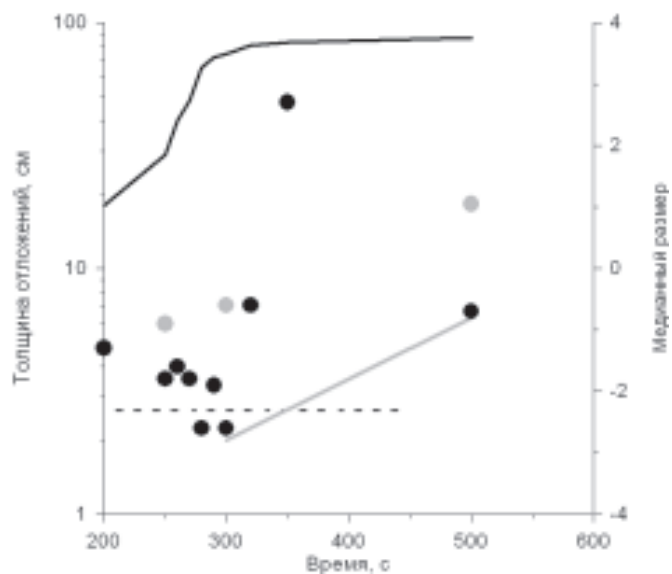


Рис. 3. Расчет зависимости толщины (линии и левая ось) и гранулометрического состава (точки и правая ось) отложений направленного взрыва от времени в ближней (черный цвет) и дальней (серый цвет) зонах. Пунктирная линия соответствует среднему размеру частиц, выбрасываемых из жерла.

2. *Kieffer S.W.* Fluid dynamics of the May 18 blast at Mount St. Helens. In: Lipman P.V., Mullineaux D.R. (eds) The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington // US Geol. Surv. Prof. Pap. 1981. V.1250. P. 379-401.
3. *Shuvalov V.V.* Multi-dimensional hydrodynamic code SOVA for interfacial flows: Application to the thermal layer effect // Shock Waves. 1999. V.9. P. 381-390.
4. *Thompson S.L. and Lauson H.S.* Improvements in the Chart-D radiation-hydrodynamic code III: Revised analytical equation of state // Rep SC-RR-710714. Sandia Nat. Lab. 1972. Albuquerque, NM.
5. *Valentine, G.A., and K.H. Wohletz.* Numerical Models of Plinian Eruption Columns and Pyroclastic Flows // J. Geophys. Res.1989. V. 94. P.1867-1887.

NUMERICAL MODELING OF THE 1956 BEZYMIANNY DIRECTED BLAST

Natalya Artemieva¹, Alexander Belousov^{2,3}, Barry Voight⁴ and Marina Belousova³

¹*Institute for Dynamics of Geospheres, Moscow, Russia (artemeva@psi.edu)*

²*Institute of Marine Geology and Geophysics, Yuzno-Sakhalinsk, Russia. (belousov@mail.ru)*

³*Institute of Volcanology and Seismology, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia.*

⁴*Penn State University, University Park, PA 16802, USA*

Here we present the preliminary results of numeral modeling of motion of ejecta in a plume of directed blast using three-dimensional hydrocode SOVA. The data received during study of directed blast deposits of Bezymianny volcano in 1956 and Mt. St. Helens in 1981 were used to determine initial conditions. Total deposited mass depends on the solid/gas mass ratio: at the highest value of 25, ~80% of ejected mass is deposited within 10 minutes, while at lower mass ratio only 1/3 of ejecta is deposited.