

03

## Извержение лавы на Плоском Толбачике (Камчатка-2012)

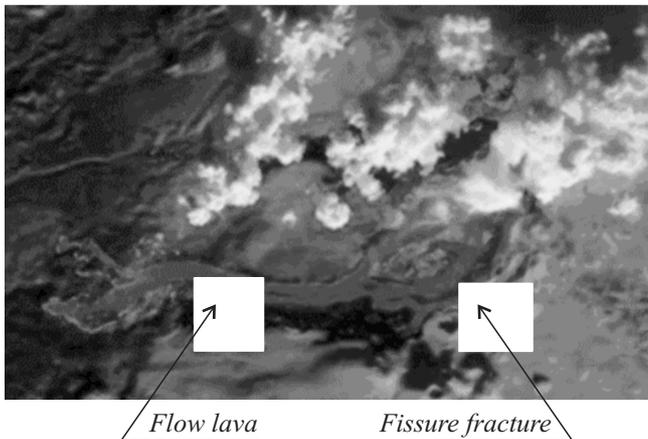
© В.К. Балханов, Ю.Б. Башкуев

Институт физического материаловедения СО РАН,  
670047 Улан-Удэ, Россия  
e-mail: ballar@yandex.ru

(Поступило в Редакцию 30 июля 2014 г. В окончательной редакции 13 января 2015 г.)

27 ноября 2012 г. активизировался вулкан Плоский Толбачик на Камчатке. На склоне вулкана образовался канал в виде гигантской трещины, через которую на поверхность каждую секунду выбрасывается до 1.2 тысячи тонн лавы. В работе канал доставки магмы к поверхности моделируется узким прямоугольным отверстием. Для такой постановки задачи при решении уравнения Навье–Стокса получена формула для расчета притока лавы, которая удовлетворительно описывает известный из натурных наблюдений каждую секунду приток магмы.

На высоте 1.7 km над уровнем моря на склоне вулкана Плоский Толбачик на Камчатке (рис. 1) образовался трещинный разлом протяженностью до 5 km, извергающий жидкую лаву. По оценке заместителя директора Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН Г. Карпова [1], на поверхность каждую секунду выбрасывается до 1.2 тысячи тонн лавы. Нашей задачей будет теоретическое обоснование каждого секунду притока лавы и установление средней скорости извержения лавы. Поскольку полное теоретическое исследование даже численными методами представляется трудным, то мы примем следующие предложения, существенно упрощающие задачу.

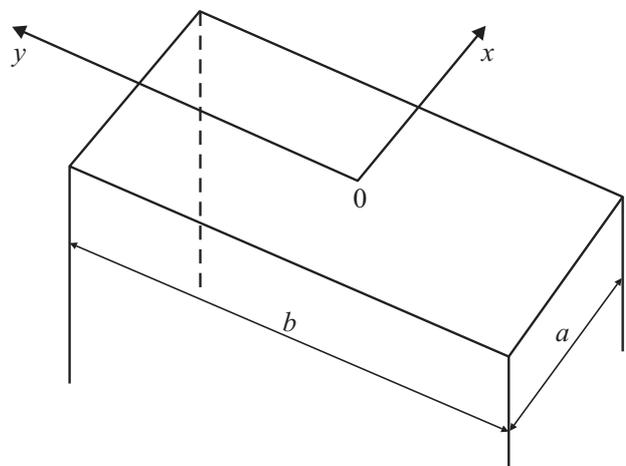


**Рис. 1.** Лавы из Толбачика — вид в тепловых лучах с орбиты (черно-белая проекция). Начало извержения 27 ноября 2012 г. Фото НАСА в цвете <http://www.kp.md/daily/25998.5/2926518/>

Будем считать выходное отверстие канала доставки лавы на земную поверхность в виде прямоугольного отверстия размером  $a \times b$  (рис. 2). Из натурных наблюдений известно, что длина разлома  $b = 5$  km. 21–22 августа 1985 г. во время Большого трещинного Толбачикского извержения раскрылась очередная система трещин [2]. В средней части ширина трещин достигала 5 m, а ближе к краям трещин ширина была 1.5 m. Мы для

рассматриваемого разлома примем, что в среднем его ширина будет  $a = 3$  m. Поскольку высота трещинного разлома над уровнем моря равна 1.7 km, то давление будет несколько меньше, чем 0.1 МПа. С другой стороны, чтобы лавы изливалась на земную поверхность, давление должно быть немного больше, чем 0.1 МПа. Поэтому мы для вычислений можем принять, что на поверхности перепад давления  $\Delta P = 10^5$  Pa. Еще одним параметром, влияющим на течение магмы, является ее вязкость  $\eta$ . Для  $\eta$  из монографии [3] известно, что она имеет значения в пределах 1–100 Pa·s. Мы примем, что  $\eta = 60$  Pa·s. Плотность магмы  $\rho$ , согласно [4], равна  $2300$  kg/m<sup>3</sup>. Для глубины очага  $H$ , как и в случае Большого трещинного Толбачикского извержения 1975–1976 г. [5,6], возьмем  $H = 20$  km. Выбор некоторых величин определенных численных значений будет оправдан согласием вычисленного притока лавы с наблюдаемым его значением.

Поскольку лавы является жидкой, то ее течение описывается уравнением Навье–Стокса. Для нашей задачи



**Рис. 2.** Трещинный разлом протяженностью  $b = 5$  km и шириной  $a = 3$  m. В центре разлома расположена точка 0 — начало декартовых координат  $x, y$ .

оно принимает следующий вид:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = -\frac{\Delta P}{\eta \rho H}.$$

Однако у нас  $b \gg a$ , и основная масса лавы прилипает к поверхности канала на длинных участках с длиной  $b$ , вдоль которой направим ось  $y$ . Поэтому в первом приближении можно оставить

$$\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = -\frac{\Delta P}{\eta \rho H}.$$

Непосредственным интегрированием находим пространственное распределение скорости течения лавы:

$$V(x, y) = \frac{\Delta P}{2\eta \rho H} \left( \frac{b^2}{4} - y^2 \right). \quad (1)$$

Решение удовлетворяет граничному условию, согласно которому на стенках длинного участка канала, когда  $y = \pm b/2$ , скорость зануляется. Заметим, что известное решение для течения Пуазейля через эллиптическое сечение здесь не годится. Это видно из того, что на углах в прямоугольном сечении канала образуются сгущения жидкости, появляется турбулентность, возможны и другие не учтенные факторы. Наше же решение для скорости будет достаточным для определения количества изливающей лавы, определяемого как приток магмы  $Q$  (масса  $M$  в единицу времени) на земную поверхность:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{dM}{dt} = \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \rho V(x, y) dx dy \\ &= 4 \int_0^{a/2} \int_0^{b/2} \rho V(x, y) dx dy. \end{aligned} \quad (2)$$

Пределы интегрирования написаны с учетом симметрии задачи и с учетом нашего выбора системы координат, показанной на рис. 2. Подставляя (1) в (2) и проведя элементарное интегрирование, окончательно находим

$$Q = \frac{\Delta P}{12\eta \rho H} ab^3. \quad (3)$$

По существу это есть первый член ряда разложения по малому параметру  $a/b$ . Подставляя принятые выше величины, находим

$$Q = \frac{10^5 \cdot 3 \cdot (5 \cdot 10^3)^3}{12 \cdot 60 \cdot 2300 \cdot 20000} = 1.1 \cdot 10^6 \text{ kg/s} = 1.1$$

one thousand tons a second.

Этим самым получено теоретическое обоснование наблюдаемой величины притока лавы на земную поверхность.

Установленная величина притока лавы позволяет также получить оценку скорости  $V$ , с которой лава извергается на земную поверхность. Для этого необходимо использовать следующую формулу:

$$Q = \rho V ab,$$

где произведение  $ab$  является поперечным сечением канала. Подставляя установленные выше величины, получаем

$$V = 0.03 \text{ m/s}.$$

Это значение согласуется со скоростью, приведенной в [5] для Большого трещинного Толбачикского извержения 1975–1976 г.

Таким образом, теоретически определены приток лавы и скорость ее извержения на земную поверхность. Полученные значения согласуются с результатами измерений и величинами, известными из литературы. В конце заметим, что результат (3) можно рассматривать как способ определения величины  $a/\eta$ , каждая из которых задана с огромной погрешностью. За это и другие замечания авторы благодарны рецензенту.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 12-01-98006, 12-02-98002 и интеграционным проектом СО РАН № 11.

## Список литературы

- [1] <http://www.kp.md/daily/25998.5/2926518/>
- [2] <http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/tolb.html>
- [3] Персиков Э.С. Вязкость магматических расплавов. М.: Наука, 1984. 160 с.
- [4] Лебедев Е.Б., Хитаров Н.И. Физические свойства магматических расплавов. М.: Наука, 1979. 200 с.
- [5] Федотов С.А. Большое трещинное Толбачикское извержение. Камчатка 1975–1976. М.: Наука, 1984. 638 с.
- [6] Балханов В.К., Башкуев Ю.Б., Жатнуев Н.С. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 9. С. 147–149.