

УДК 539.3

КОМЕТНАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ

© 2011 г.

Е.А. Сагомонян, В.М. Гендугов

Московский госуниверситет им. М.В. Ломоносова

sagomon@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Построены и исследованы модели формирования кимберлитовой трубки при нормальном ударе о Землю кометы, представляющей собой осесимметричное низкоплотное твердое тело, внутри которого находится высокоплотное твердое ядро.

Ключевые слова: кимберлитовая трубка, комета, алмазы, удар.

Введение

Кимберлитовая трубка – уникальный природный объект, в котором обычно находятся месторождения алмазов. Как правило, она имеет коническую форму с основанием на поверхности Земли. При этом трубка заполнена породами, подвергшимися метаморфизму (кимберлиты), внутри которых могут обнаружиться алмазы, если она алмазоносна. К настоящему времени сформировались две основные концепции происхождения таких объектов: «земная» и «космическая». В рамках «земной» концепции [1] кимберлитовая трубка рассматривается как след от извержения кимберлитовой магмы из недр на поверхность Земли. Заметим, однако, что в рамках этой концепции возникают трудности обоснования гипотез возникновения и удержания условий образования алмазов, соответствующих опытным данным [2, 3].

Концепция о космическом происхождении кимберлитовой трубки, выдвинутая Е.И. Шемякиным [4], опирается на представлении о том, что этот объект есть след от внедрения в Землю крупного космического тела с большой сверхзвуковой скоростью. В этом случае в ударносжатой породе возникают условия для ее метаморфизма и образования алмазов. Вместе с тем, многообразие форм и структур космических тел наводит на мысль о неоднозначности их взаимодействия с Землей и возможности реализации схем образования трубки, отличных от рассмотренной. Проводится дальнейшее исследование модели формирования кимберлитовой трубки, предложенной в работе [5], при ударе о Землю кометы, представляющей собой осесимметричное низкоплотное тело, внутри которого находится осесимметричное высокоплотное твердое ядро с передней по-

верхностью на теле кометы. Предполагается, что комета имеет характерный радиус (порядка десятков километров), много больше характерного радиуса ядра.

Постановка задачи

В начальный период удара формируется поверхность контакта. Пренебрежем этим периодом по сравнению со временем взаимодействия тел и для определенности рассмотрим ядро в форме кругового цилиндра радиусом R с плоским передним срезом. В момент удара от поверхности контакта по оболочке и ядру кометы, а также по породе Земли распространяются мощные пластические скачки уплотнения, сжимающие соответствующие материалы до предельных плотностей. По мере продвижения ударной волны в грунт ее площадь сокращается из-за наличия боковой волны разгрузки.

В таких приближениях модель образования кимберлитовой трубки сводится к задаче определения формы тела в жесткопластической преграде (Земле) под передним срезом жесткопластического кругового цилиндра (кометы) при ее ударе о преграду.

Как уже отмечалось, при ударном взаимодействии тел по цилиндру движется пластическая волна, занимающая поверхность ее сечения, а в преграде движется ударная волна, радиус которой может сокращаться.

Выберем начало лагранжевой координаты x поверхности контакта и направим ось по направлению удара. Запишем уравнение движения жесткого тела, заключенного между скачками уплотнения в ядре кометы и в Земле:

$$(m_k + m_3) \frac{dV}{dt} = F_k - F_3 + F_8. \quad (1)$$

Здесь m_k, m_3 – массы ударно сжатого материала кометы и земной породы; F_k, F_3 – силы, действующие за скачками уплотнения, F_δ – сила сопротивления боковой поверхности трубки в проекции на направление движения, V – скорость жесткого тела, t – время. Силы F_k, F_3 определяются из соотношений на ударном фронте в материале кометы и в породе Земли соответственно. Согласно исследованиям А.Я. Сагомояна [6], сумма проекций нормальных и касательных сил, действующих на элементарную площадку ds , на направление движения выразится формулой

$$dF_\delta = (P_\delta - P_{03})(f' + \mu_0) \frac{ds}{\sqrt{1 + f'^2}},$$

где μ_0 – коэффициент трения, P_{03} – давление в породе перед волной, $f(x)$ – образующая сформировавшегося тела трубки. Выражение для P_δ приведено в [6].

Зададимся теперь вопросом, какой должна быть геометрия кимберлитовой трубки, чтобы формирующееся жесткое тело между скачками уплотнения в ядре кометы и грунта имело постоянную скорость? При таком условии ускорение равно нулю, т.е. правая часть уравнения (1) равна нулю. Получающееся при этом уравнение для определения геометрии формирующейся трубки имеет вид

$$\left(\frac{\rho_{03} V^2}{2c} \left(\ln \frac{1}{c-1} (ff'' + f'^2) + cf'^2 \right) + \frac{\tau_0 \ln \frac{1}{1-c}}{2} \right) \frac{f' + \mu_0}{\sqrt{1 + f'^2}} - \frac{\rho_{03} V^2}{1-c} - P_{03} = 0. \quad (2)$$

Здесь $c = \rho_{03}/\rho_3 = \text{const} < 1$, $\tau_0 = 2k \cos \theta$, θ – коэффициент внутреннего трения, k – коэффициент сцепления грунта.

Выводы

Обратим внимание, что образующая конической трубки $f(x) = x + \alpha$ является решением (2). Анализ уравнения (2) с учетом того, что трубка коническая, показал существование критической степени сжатия породы ($c < 1$) такое, что если степень сжатия превышает критическую, то крутизна стенок трубки растет вместе со скоростью встречи, а при степени сжатия менее критической – уменьшается. Полученный результат можно трактовать так: трубка, формирующаяся в горных породах, имеет крутые стенки, а формирующаяся в осадочных породах – пологие. Заметим, что если формирование кимберлитовой трубки завершается до момента выхода ударной волны на тыльную поверхность ядра кометы, то объем кимберлитовой трубки и, при выполнении определенных условий [7], количество алмазов, легко оценить по диаметру основания трубки и параметров горной породы, окружающей месторождение.

Список литературы

1. Васильев В.Г., Ковальский В.В., Черский Н.В. Происхождение алмазов. М.: Недра, 1968.
2. Дерягин, Б.В. Федосеев Ф.В. Рост алмаза и графита из газовой фазы. М.: Наука, 1977.
3. Лейпунский О.И. Об искусственных алмазах // Успехи химии. 1939. Т. 8. Вып. 10. С. 1519–1533.
4. Шемякин Е.И. О происхождении алмазных трубок // Вестник МГУ. Сер. 1. Математика. Механика. 1995. №2. С. 70–79.
5. Гендугов В.М., Сагомоян Е.А. Модель образования кимберлитовой трубки // Современные проблемы математики и механики. М.: Изд-во МГУ. Т. 2. Вып.1. С. 112–117.
6. Сагомоян А.Я. Проникание. М.: Изд-во МГУ, 1974.
7. Гендугов В.М. О механизме и критических условиях образования природных алмазов // Вестник МГУ. Сер. 1. Математика, механика. 2001. №1. С. 36–41.

THE COMET MODEL OF A KIMBERLITE TUBE

Ye.A. Sagomonyan, V.M. Gendugov

This paper is devoted to constructing and modeling a kimberlite tube formation under a normal impact of a comet onto the Earth. The comet is considered to be an axially symmetric solid low-density body with a high-density core inside.

Keywords: kimberlite tube, comet, diamond, impact.