

Л. Г. СТРАХОВ

## ЭНЕРГИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТРУБОК ВЗРЫВА

(Представлено академиком А. Л. Яншиным 22 II 1971)

Накопившийся к настоящему времени фактический материал о строении трапповых вулканических трубок, к которым приурочены железорудные месторождения ангаро-илимского типа, позволяет утверждать, что этими структурами прорываются породы осадочного чехла от нижнего кембрия до триаса включительно. Туфобрекчии, заполняющие трубки, содержат многочисленные включения обломков прорваивных пород самых различных горизонтов. При этом обломки известняков кембрия и ордовика часто располагаются рядом с обломками углистых пород карбона, туфов, туфопесчаников и траппов пермо-триасового возраста. Налицо, следовательно, раздробление вмещающих пород и перемещение их обломков вверх и вниз на многие сотни метров.

Эти и другие данные геологического строения ангаро-илимских трубок (1) подтверждают высказанное впервые П. Е. Оффманом (2), сейчас общепризнанное мнение о том, что при образовании подобных структур вмещающие их породы были раздроблены и выброшены, а затем, после взрыва, заполняли образовавшуюся полость, перемещиваясь с пирокластическим материалом.

С точки зрения познания природы этого процесса представляется очень важным оценить энергию, необходимую для раздробления и перемещения таких огромных масс пород. Определение объема трубок произведено на конкретном примере одного из наиболее изученных месторождений Ангаро-Илима (Красноярское), трубочная структура которого не вызывает сомнений. На рис. 1 и 2 показаны формы трубки в поперечном и продольном разрезах, с разделением ее на три части (сверху вниз): эродированную (число свит осадочных пород определяется по обломкам, найденным внутри трубок, а их мощность — по данным геологической съемки в этом районе); фактически разведанную; залегающую на глубине (определяется по геолого-геофизическим данным). На рисунках отображен переход на глубине трубки в трещину, что для кимберлитовых трубок установлено горными выработками, а для трапповых и других предполагается в связи с приуроченностью их к разломам, не выходящим на поверхность. В конкретном случае Красноярского месторождения геологоразведочными работами установлено сужение трубки в поперечном разрезе при сохранении размера в продольном сечении. На продольном разрезе (рис. 2) нанесены верхнее и нижнее сечения разведанной части трубки в том виде, как они выглядят в плане, без искажения.

Тенденция к вытягиванию сечения трубки с глубиной проявляется в северо-западном направлении, что сочетается с приуроченностью трубки к скрытому северо-западному разлому фундамента и обосновывает предположение о переходе ее в трещину на глубине порядка 3 км от современной поверхности или 4 км от размытой поверхности триаса.

Конфигурация трех частей Красноярской трубки различна, поэтому объем их вычислялся отдельно способом горизонтальных сечений с определением площадей последних по укрупненным чертежам.

Объемы трех частей трубки (сверху вниз) равны:  $V_1 = 11,1 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>.

$V_2 = 3,2 \cdot 10^8 \text{ м}^3$ ,  $V_3 = 10^9 \text{ м}^3$ . Суммарный объем трубочной полости в момент ее образования определяется в  $2,4 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ .

Энергию, необходимую для выноса раздробленных масс на поверхность Земли, приблизительно можно определить исходя из того, что работа 1 тм эквивалентна  $10^{14}$  эрг (<sup>2</sup>).

Определение затраты энергии произведем раздельно для каждой из трех частей трубки, принимая перемещение центра массы каждой из них вверх до высоты 200 м над предполагаемым уровнем поверхности триаса. Средний объемный вес пород осадочного чехла принят равным 2,6.

$$E_1 = 1,11 \cdot 10^9 \cdot 2,6 \cdot 500 = 1,44 \cdot 10^{12} \text{ тм},$$

$$E_2 = 3,2 \cdot 10^8 \cdot 2,6 \cdot 1150 = 10^{12} \text{ тм},$$

$$E_3 = 10^9 \cdot 2,6 \cdot 2500 = 6,5 \cdot 10^{12} \text{ тм}.$$

Суммарная затрата энергии на преодоление силы тяжести для всей трубки равна  $9 \cdot 10^{12}$  тм, или  $9 \cdot 10^{23}$  эрг.

Здесь не учтен весьма существенный расход энергии на раздробление пород, преодоление сопротивления воздуха и др. Поэтому минимальная энергия, необходимая для образования трубочной полости, должна оцениваться в  $n \cdot 10^{24}$  эрг.

Этот вывод можно подтвердить, рассчитав полную энергию образования верхней части трубки до глубины 1200 м от предполагаемой поверхности триаса с использованием формулы Покровского (<sup>4</sup>):

$$Q = \frac{k}{50} W^4 \left( \frac{1+n^2}{2} \right)^2,$$

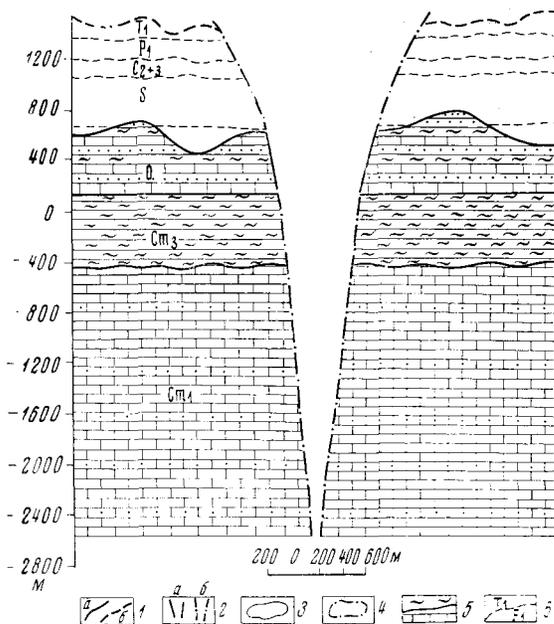


Рис. 1. Поперечный разрез трубки Красноярского месторождения. 1 — уровень поверхностей: современной (а) и предполагаемой в момент образования трубки (б); 2 — контуры трубки в разрезе: разведанные (а), эродированные (б, выше разведанной части), продолженные на глубину (б, ниже разведанной части); 3 — контуры разведанной части трубки в плане; 4 — предполагаемые контуры выходного отверстия трубки; 5, 6 — несогласные стратиграфические контакты в осадочных породах, сохранившиеся от размыва (б) и эродированных (б)

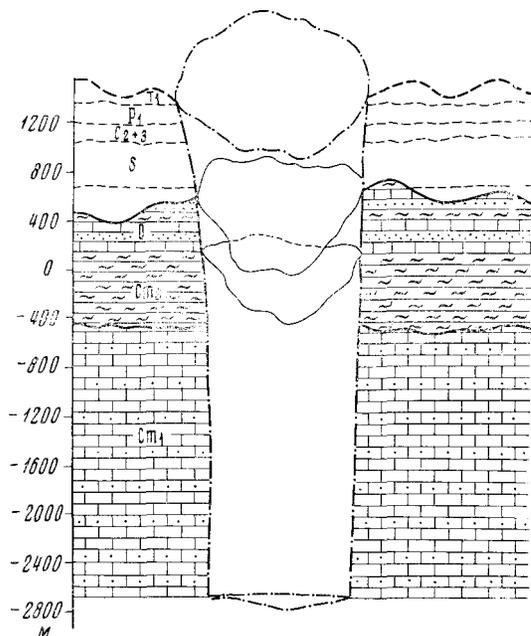


Рис. 2. Продольный разрез трубки Красноярского месторождения. Обозначения те же, что на рис. 1

где  $Q$  — количество взрывчатки средней бризантности,  $k$  — коэффициент взрываемости,  $W$  — глубина воронки выброса,  $n$  — показатель воронки ( $n = R/W$ , где  $R$  — радиус выходного отверстия воронки). Для приближительного определения  $k$  используется эмпирическое уравнение:  $k = \rho/1300$ , где  $\rho$  — средний объемный вес грунта; для осадочных пород его можно принять  $2600 \text{ кг/м}^3$ . Тогда  $k = 2600/1300 = 2$ .

Использование этой формулы только для верхней части трубки обусловливается тем, что формула рассчитана для  $n$  не менее 0,7, а глубокая часть красноярской трубки имеет  $n$  не более 0,1. Следовательно, при радиусе выходного отверстия около 850 м максимальная глубина воронки для расчета может быть принята не более 1200 м.

$$Q = \frac{2}{50} (1200)^4 \left( \frac{1 + 0,7^2}{2} \right)^2 = 4,6 \cdot 10^{10} \text{ кг.}$$

Энергия взрыва этого количества тола

$$E = 4,6 \cdot 10^{10} \cdot 4,2 \cdot 10^{13} = 2 \cdot 10^{24} \text{ эрг.}$$

Объем нижней части красноярской трубки в 1,5 раза меньше ее верхней части, но большая глубина обуславливает большую затрату энергии. Это видно уже из вышеприведенных расчетов работы на преодоление силы тяжести ( $6,5 \cdot 10^{12}$  тм против  $2,44 \cdot 10^{12}$ ). Следовательно, полная затрата энергии для образования трубки Красноярского месторождения не может быть менее  $n \cdot 10^{24}$  эрг.

Расчет энергии образования трубок имеет большое значение для выяснения их генезиса, так как позволяет судить о количестве необходимых для этого сжатых и перегретых вулканических газов, о размерах и глубинах залегания питающих магматических очагов (5).

Институт земной коры  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Иркутск

Поступило  
12 II 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Г. И. Антипов и др., Ангаро-Илимские железорудные месторождения, М., 1960. <sup>2</sup> Ф. Р. Берч, Справочник для геологов по физическим константам, ИЛ, 1949. <sup>3</sup> П. Е. Оффман, Изв. АН СССР, сер. геол., № 10 (1957). <sup>4</sup> Г. И. Покровский, А. А. Черниговский, Расчет зарядов при массовых взрывах на выброс, М., 1960. <sup>5</sup> Л. Г. Страхов, Вулканизм, гидротермы и глубины Земли, матер. к III Всесоюзному вулканологическому совещанию, Петропавловск-Камчатский, 1969.