



УДК 550.34 +551.24

А. В. Викулин

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: vik@kscnet.ru*

О природе магматического очага действующего вулкана

На большем статистическом материале о параметрах кальдер и объемах извергнутого при извержениях вулканов вещества подтверждается ранее выявленный авторами вулканологический инвариант — постоянная $\Delta h \approx 0,5$ км, не зависящая от вулканического процесса мощность магматического очага, определяемая параметрами земной коры. Предлагается новая модель процессов в тонком магматическом очаге, в основе которой заложены представления о нагревании в результате локализованной пластической деформации твёрдого вещества слоя коры на глубине залегания поверхности кристаллического фундамента около 6 км. При переходе из твёрдого состояния в жидкое и расширении расплава в центральной части очага с максимальной температурой создаётся избыточное давление. Оно более чем на порядок по величине превышает литостатическое давление и определяет динамику как процессов внутри образующегося жидкого объёма, так и созданного избыточным давлением поля упругих напряжений вокруг магматического очага. В рамках модели объясняется образование кальдеры и предлагается новый подход к решению проблемы глубинных (мантийных) ксенолитов. Большое по величине упругое поле вокруг магматического очага, соизмеримое с полем очага сильнейшего землетрясения, позволяет ставить геодинамическую задачу о количественной взаимосвязи вулканизма, сейсмичности и тектоники.

Введение

Общепринятой в настоящее время моделью магматического очага действующего вулкана считается область, расположенная под вулканом на глубине коры и верхней мантии, в пределах которой наблюдаются аномально низкие значения скоростей продольной и поперечной сейсмических волн и располагаются предваряющие извержение гипоцентры землетрясений. Сама область магматического очага предполагается заполненной жидким расплавом, магмой, которая поступая на поверхность земли, питает извержения вулканов [10, 11]. Такая модель никак не может соответствовать современным представлениям, как о физическом состоянии слагающего верхнюю мантию вещества, так и о её строении [3]. Действительно.

С одной стороны, сквозь заполненный жидкой магмой очаг не должны проходить поперечные сейсмические волны, а они, затухая, проходят; и, конечно, в пределах жидкой области никак не могут располагаться гипоцентры предваряющих извержения вулканов землетрясений. С другой стороны, если магматический очаг состоит из «твёрдотельного каркаса», являющегося средой для очагов землетрясений, то разделённые друг от друга малые части расплава никак не могут являться единым магматическим очагом и количественно определять наблюдаемые на поверхности Земли параметры извержений. И, конечно, совершенно не понятно, почему в таком случае твёрдотельный каркас в те-

чение продолжительного времени не расплавляется под действием окружающей его жидкой магмы.

Кроме этих очевидных несоответствий возникает много других вопросов, каждый из которых, по сути, ставит «крест» на общепринятой модели очага вулканического извержения, или ставит вопросы, на которые до настоящего времени так и нет ответов. В частности, слоистое строение коры и верхней мантии общепринятой моделью может быть учтено частично путём размещения магматического очага (или системы магматических очагов) между слоями с разными значениями скоростей сейсмических волн. Блоковое же строение земной коры в рамках такой модели никак не учитывается вовсе.

В общепринятой модели практически не учитываются многочисленные данные по кальдерообразующим извержениям вулканов числом около 800 [3, 4]. Анализ этих данных однозначно определяет «блинообразную» форму расположенного в пределах земной коры магматического очага, мощность (размер по вертикали) $\Delta h \approx (0,5-1,0)$ км которого много меньше его размеров по горизонтали $D \approx 10-13$ км — среднего диаметра образующихся при извержениях кальдер: $\Delta h \ll D$. Именно эти данные, по сути, и определяют величину $\Delta h \approx (0,5-1,0)$ км как некую универсальную вулканическую величину, вулканический инвариант, который не зависит ни от типа извержения, ни от места расположения вулкана, ни от времени его извержения и определяемый только свойствами вмещающий

очаг среды — свойствами земной коры, её блоковым строением.

Серьёзные возражения против подъёма жидкой магмы с глубин мантии и ядра приведены во многих источниках, включая и фундаментальные вулканологические монографии (библиографию см. в [3, 4]). Для постановки задачи о возможности образования магматических очагов вулканов в пределах земной коры имеются все основания. Действительно, в блоковой среде, обладающей сильно нелинейными свойствами, одним из вероятных источников тепла, как показывают оценки [7], действительно может являться механическое движение блоков земной коры [9], которое особенно интенсивно происходит именно вдоль «резких» сейсмических границ. Более того, в блоковой по строению земной коре переходной от океана к материковой зоне, подверженной интенсивным геодинамическим движениям, именно блинообразная форма магматического очага лучше будет соответствовать характеру деформационных процессов, протекающих вдоль границ блоков. Возможность существования таких «межграницных» магматических очагов подтверждается и палингенными очагами [5] и прямыми геофизическими инструментальными наблюдениями [1, 2].

Новая модель магматического очага под действующим вулканом

В рамках блоковых представлений о строении коры была предложена принципиально новая модель *теплового перегрева* вещества магматического очага, расположенного в пределах земной коры. Модель, которая являлась основой, разработана в материаловедении для твёрдых тел с интенсивными пластическими деформациями, которые при условии медленного теплоотвода могут приводить к существенному нагреву зоны пластической деформации вплоть до разрушения тела [6].

Основные положения модели сводятся к следующему [4]. Величина локализованной пластической деформации может достигать больших значений, ≈ 1 , в полосе скольжения и вне полос она становится близкой к нулю, ≈ 0 . При скорости деформации экспоненциальным образом зависящей от напряжения и температуры величина пластической деформации может привести к повышению температуры в области её локализации за счёт тепловыделения. В случае малого значения коэффициента температуропроводности, когда компенсации нагрева не происходит, температура в зоне интенсивной пластической деформации будет постоянно повышаться вплоть до выхода в режим теплового самоускорения, приводящего, как правило, к разрушению деформируемой части тела, часто, в результате его расплавления.

Для образования прогретой полосы требуется выполнение следующих физически прозрачных условий: деформирование должно происходить, с одной стороны, достаточно быстро, чтобы образующееся тепло не успевало отводиться за счёт теплопро-

водности, с другой — достаточно медленно, чтобы в результате релаксации напряжений «успевала» уменьшаться скорость пластической деформации и удельная мощность тепловыделения.

В условиях малой теплопроводности земной коры были проведены термодинамические расчёты твердотельного перегретого выше точки плавления магматического очага, расположенного на глубине залегания границы кристаллического фундамента $H = 5\text{--}6$ км (Камчатка) и состоящего из алюминия, имеющего тепловые свойства, близкие свойствам магмы. При появлении в таком «перегретом» очаге «зародышей» жидкой фазы в его твердотельной части и в прилегающей к очагу земной коре создаются упругие напряжения $\Delta P_l = 2,4 \cdot 10^9$ Па, которые более чем на порядок по величине превышают литостатическое давление $\Delta P_h = 10 \cdot 10^8$ Па.

Как видим, в предложенной нами модели магматического очага выполняется условие $\Delta P_l \gg \Delta P_h$, физический смысл которого заключается в том, что термодинамические условия протекания процессов в твердотельном перегретом очаге определяются фазовым переходом магмы «твёрдое состояние — расплав», сопровождающимся увеличением объёма, и никак не зависит от литостатического давления. Это важнейший вывод, который позволяет принципиально по новому подходить к интерпретации процесса извержения вулкана.

Некоторые следствия модели

Взаимодействие вулканизма и сейсмичности. Избыточное, создаваемое в результате фазового перехода внутри магматического перегретого очага и в окружающей его части коры, давление ΔP_l по своей величине сопоставимо с напряжениями в очагах сильнейших (с магнитудами около 8 и выше), что позволяет ставить задачу о взаимодействии вулканизма и сейсмичности, процессов, протекающих в пределах двух рядом расположенных параллельных дугах. И, в частности, объяснять миграцию извержений вулканов и очагов землетрясений вдоль тектонических поясов, как проявление волнового геодинамического, единого сейсмического + вулканического, процесса.

О роли флюида. По определению геологический термин «флюид» не имеет достаточно строго определения, флюид, как в своё время и физический термин «эфир» — понятие всеобъемлющее, обладающее любыми наперед заданными свойствами. В рамках же предложенной блоковой модели магматического очага вулкана отпадает необходимость привлечения флюида как движущей «тепловой» силы процессов и магнообразования и извержения, что позволяет экспериментально проверить все положения и выводы модели.

Граница Мохо. Независимость процессов в магматическом очаге от параметров вулканического процесса позволяет свойства универсальной $\Delta h \approx (0,5\text{--}1,0)$ км величины распространить на всю

мощность земной коры и верхней мантии. Такой подход к объяснению природы границы Мохо, определяемой фазовым переходом от «блоковой» коры со сдвиговыми движениями вдоль границ блоков к «неблоковой» верхней мантии с объёмным течением в пределах тонкого прослоя Δh , оказался, по сути, близким модели Н. И. Павленковой [8].

Список литературы

1. Аносов Г. И., Аргентов В. В., Абдурахманов А. И. и др. Глубинное строение вулкана Уратман // Вулканология и сейсмология. 1990. №4. С. 85–91.
2. Балеста С. Т. Земная кора и магматические очаги областей современного вулканизма. М.: Наука, 1981. 135 с.
3. Викулин А. В., Акманова Д. Р. Магматический очаг как свойство земной коры // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. №1. Вып. №23. С. 213–230.
4. Викулин А. В., Иванчин А. Г. Новый взгляд на природу магматического очага // Система «Планета Земля»: 200 лет Священному союзу (1815–2015). М.: ЛЕНАРД, 2015. С. 293–312.
5. Ермаков В. А. Формационное расчленение четвертичных вулканических пород. М.: Недра, 1977. 223 с.
6. Иванчин А. Г. Роль кооперативных эффектов при движении дислокаций в диссипации энергии. Диссерт. на соиск. уч. ст. к.ф.-м.н. Томск: ИОА СО АН СССР, 1982. 131 с.
7. Кропоткин П. Н. Основные проблемы энергетике тектонических процессов // Изв. АН СССР. 1948. №5. С. 89–104.
8. Павленкова Н. И. Природа границы М по геофизическим данным // Материалы 45 Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2013. С. 138–141.
9. Пейве А. В. Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР. Серия геол. 1961. №3. С. 36–54.
10. Федотов С. А. Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов. М.: Наука, 2006. 455 с.
11. Koulakov I, Gordeev E. I., Dobretsov N. L., et al. Feeding paths of the Kluchevskoy volcano group (Kamchatka) from the results local earthquake tomography // Geophysical research letters. 2011. Vol. 1. 38, LXXXXX. P. 1–6.