

УДК 552.112+551.234

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ РАЗМЕРОВ И ВРЕМЕНИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОБЛАСТИ НАДКРИТИЧЕСКОГО ФЛЮИДА В СУБАЭРАЛЬНЫХ СМЕШАННЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ АНДЕЗИТОВЫХ ВУЛКАНОВ

© 2004 г. В. Н. Шарапов, Е. П. Бессонова, В. К. Черепанова

Представлено академиком В.В. Ревердатто 19.02.2004 г.

Поступило 04.03.2004 г.

Корректный физико-химический анализ взаимодействий магматогенных флюидов и пород в термальных системах активных вулканов “андезитовой линии” возможен при оценке времени существования и пространственного положения зон фазового состояния магматических и смешанных с поровыми растворами флюидов. Хотя основные аспекты построения физических моделей таких систем были обсуждены в [1–4] и предложены алгоритмы численного описания их динамики [4], конкретный анализ формирования и отмирания пародоминирующей зоны в “магматической” части термальной системы был позднее проведен только для субмаринных зон спрединга [5]. Развитие приложений ПК СелекторWin [6] для возможности количественного описания “проточных” сложно-построенных последовательных реакторов с детальным “условно-временным” анализом изменения состава флюидной и твердой фаз позволяет в сочетании с физической моделью тепло-массопереноса получать для отмеченных гидротермальных систем те физико-химические характеристики их эволюции, которые ранее могли быть спрогнозированы лишь качественно. Именно для построения таких комплексных моделей необходимы характеристики динамики температуры и давления в экзоконтактной зоне интрузивных тел и учет распределения физических параметров в ее разрезе. Поэтому нами была модифицирована указанная выше численная схема описания динамики ретроградного кипения гранитоидных расплавов в интрузивных камерах [4] с учетом структурных типов отделения газовой фазы, фильтрующихся в неоднородно-слоистых вмещающих породах [7].

В этом сообщении на основе результатов численных экспериментов дана оценка для одномерного приближения особенностей развития области надкритического состояния водного магматического флюида в неоднородных по петрофизическим свойствам субэральных разрезах андезитовых вулканов. В качестве реального образца для построения модели были учтены известные данные по термальной системе вулкана Эбеко [8].

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ОБЛАСТИ ОРТОМАГМАТИЧЕСКОГО НАДКРИТИЧЕСКОГО ПАРА У ВЕРХНЕГО КОНТАКТА МАГМАТИЧЕСКОГО ТЕЛА

Пусть под ранее сформировавшимся разрезом слоистых субэральных вулканогенных пород в начальный момент времени t_0 появилась на некоторой глубине плоская магматическая камера, содержащая недосыщенный по воде расплав андезитового состава. Рассмотрена динамика T и P в потоке магматического флюида, отделившегося от границы солидуса при кипении расплава в изверженных и вмещающих породах, с учетом конвективного и кондуктивного теплопереноса. Математическая формулировка задачи динамики охлаждения интрузива с учетом ретроградного кипения магмы аналогична [7]. Из-за краткости сообщения здесь она не приведена. В рассматриваемом нами случае данная задача, кроме состава исходного расплава, отличается от [7] верхним граничным условием – отсутствием толщи морской воды и возможностью появления согласно диаграмме состояния [9] области вторичного кипения или парения на границе с атмосферой. Исползованные в расчетах физические характеристики сред приведены в табл. 1. Отметим также то, что спецификой субэральных вулканогенных разрезов является наличие слоев туфов, туффитов и иных обломочных высокопористых и

*Институт геологии
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск
Институт теоретической и прикладной механики
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск*

Таблица 1. Физические характеристики сред

Параметр	Флюид*	Интрузив	Расплав	Вмещающие породы
Плотность, кг/м ³	550	2600	2500	2600
Теплоемкость, Дж/кг · К	4100	1200	1200	1000
Теплопроводность, Вт/м · К	0.2	1.5	2	1.4
T внедрения, К	–	–	1400	–
T солидуса, К	–	–	993	–

* Данные для надкритического флюида, выше границы конденсации – теплофизические свойства жидкой H₂O [6, 9]. Подробное обоснование выбранных параметров см. в [4].

проницаемых пород в стратифицированных разрезах вулканических построек. Поэтому нами рассмотрены относительно широкие вариации эффективной пористости и проницаемости вмещающих пород, как и начальные содержания воды в расплаве. В численных экспериментах исследовано семь вариантов глубины залегания магматической камеры с интервалом в 500 м, от 1500 м

до 4500 м (мощность камеры 1000 м) и 3 типа разрезов над камерой, в которых толщина отдельных слоев увеличивается в соответствии с увеличением глубины залегания кровли магматического (рис. 1).

В данном сообщении мы сосредоточим внимание на наиболее существенной особенности смешанных субаэральных магматогенных термальных систем – возникновении и эволюции над границей солидуса в магматическом теле потока, фильтрующегося вверх по разрезу вмещающих пород, конденсирующегося при охлаждении в водный раствор, который смешивается с поровыми флюидами [7].

В андезитовых расплавах предполагаются довольно широкие вариации начального содержания воды [10]. Лишь при некотором начальном содержании воды в расплаве ($C_0^{кр}$) можно ожидать при ретроградном кипении появления области фильтрационного потока надкритического водного магматического флюида [4, 7]. Как следует из результатов численного моделирования в рассмотренных разрезах (рис. 1) для интервала глубин залегания кровли магматической камеры, в интервале глубин 1500–3000 м это значение $C_0^{кр} \approx 0.6$ мас. %. Зависимость продолжительности ретроградного кипения от начального содержания воды в расплаве для вариации $C_0 = 1–3$ мас. % относительно времени кристаллизации интрузивов в рассматриваемом интервале глубин ($t_{крис} < 10^4$ лет) отличается незначительно – $\Delta t \approx 500–600$ лет. Общее время протекания ретроградного кипения для интрузива мощностью 1000 м до прекращения отделения флюида от расплава (смыкания верхней и нижней границ недосыщенного расплава в разрезе магматического тела) по расчету менее 6000 лет. Некоторые вариации в продолжительности ретроградного кипения (при фиксированных глубине камеры и C_0) связаны с проницаемостью экзоконтактовых пород: чем выше их проницаемость, тем дольше существует область надкритического магматического флюида.

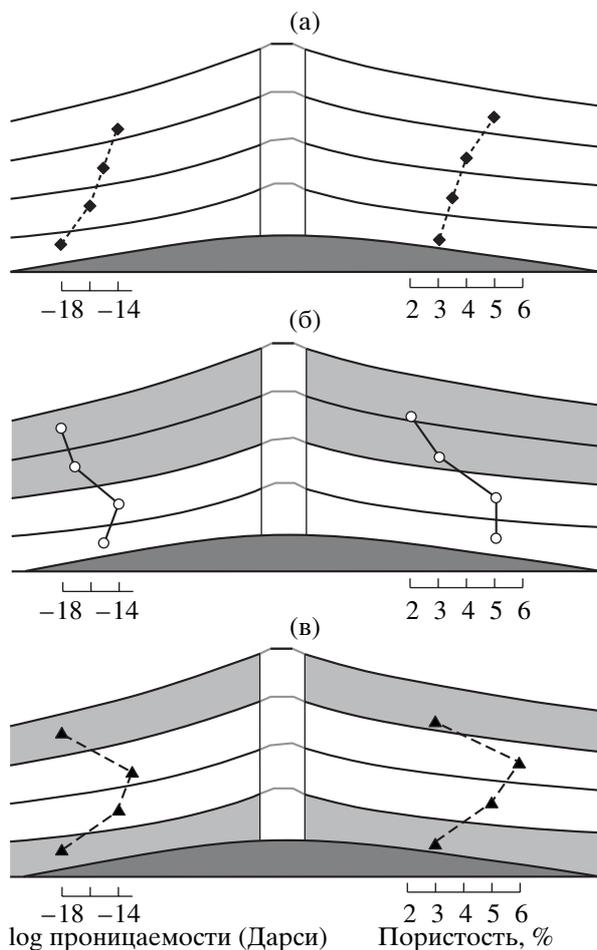


Рис. 1. Пространственные распределения принятых в модели петрофизических характеристик пород в разрезе вулканической постройки.

Результаты численных экспериментов для указанного (рис. 1, табл. 1) диапазона варьирования начальных и граничных условий обобщены на рис. 2. Анализ этих результатов позволяет выявить особенности существования зон пародоминирования в магматогенных термальных субаэральных системах. С увеличением глубины залегания интрузивной камеры область надкритического водного флюида смещается в контур магматического тела. По-видимому, где-то на глубинах порядка 4000 м от поверхности Земли лишь в зонах дренирования можно ожидать подъема границы конденсации магматического пара за контуры гранитоидного интрузива. Похоже, что в субаэральных вулканогенных термальных системах области магматогенных надкритических флюидов имеют достаточно ограниченные размеры за пределами магматических тел. По нашим оценкам, их максимальная ширина в экзоконтактной зоне на глубинах 1500–2500 м не более 400 м. Чем глубже залегает камера, тем меньше мощность зоны пародоминирования за пределами магматического тела. При глубине границы камеры 4500 м граница конденсации не выходит за пределы магматического тела (рис. 2).

Различия “модельных” мощностей таких зон в рассматриваемом диапазоне $C_0^{\text{крит}} - C_{\text{нас}}(T, P)$ весьма незначительны, порядка нескольких десятков метров. Показанная на рис. 2 линия *l*, фиксирующая прекращение отделения флюида, может довольно точно характеризовать временные и пространственные соотношения между положением границы конденсации и контактом магматического тела. С этого момента в интрузивном теле медленно смыкаются границы солидуса и прекращается отделение (дистилляция) магматического флюида, напорное течение которого исчезает после полного затвердевания расплава. Поэтому левое поле (I) на рис. 2 мы относим к этапу “активного” ретроградного кипения и “прогрессивной” ветви эволюции термальных систем. Правое поле диаграммы (II) в такой интерпретации можно назвать этапом “отмирания” магматической термальной системы, когда прекращается поступление магматического флюида. Вулканогенная система переходит к рециклинговой ветви эволюции. После прекращения отделения магматического флюида интрузивное тело является лишь “кондуктивным” нагревателем поровых флюидов, утратившим свою “конвективную” составляющую, которая ранее определяла динамику тепло-массопереноса в надинтрузивной области вмещающих пород. Качественно динамические характеристики такой системы с существованием в ней области парообразования можно оценить по результатам численных экспериментов в [11–13].

Отметим, что физические характеристики (пористость, проницаемость) вмещающих магматиче-

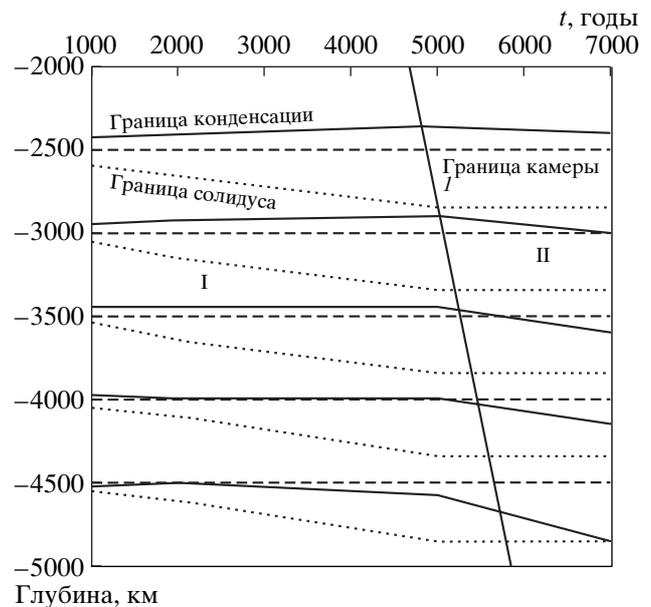


Рис. 2. Возможное положение границы конденсации магматического флюида в зависимости от глубины залегания магматической камеры.

Линия *l* — временная граница проявления ортомагматической стадии существования надкритического флюида в магматогенной гидротермальной системе. Зона I — “прогрессивная” стадия эволюции термальной системы; зона II — “рециклинговая” стадия.

ское тело пород играют значительную роль в характере конечных этапов эволюции магматических термальных систем рассматриваемого типа. В случае структурного типа разреза С (рис. 1) можно ожидать относительно быстрого исчезновения области магматической флюидной системы (до 7000 лет), тогда как случай В наиболее благоприятен для более продолжительного при прочих равных условиях существования “прогрессивного” магматического этапа эволюции смешанных магматогенных флюидных систем (до 15000 лет).

ВЫВОДЫ

1. В субаэральных магматогенных термальных системах с увеличением глубины залегания интрузивной камеры область надкритического водного флюида при ретроградном кипении смещается в контур магматического тела.
2. Время протекания ретроградного кипения расплава в малоглубинных камерах порядка 6000 лет, после чего происходит “отмирание” магматической термальной системы и превращение интрузивного тела в источник кондуктивного тепла для поровых флюидов.
3. Заметное влияние на время существования области магматической флюидной системы может оказывать тип разреза: наибольшее время су-

ществования области надкритического водного флюида можно ожидать при наличии в верхней части вулканогенного разреза флюидоупора.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 03-05-64324), гранта ВМТК "Вулкан" НШ-1573.2003.5 и Президиума СО РАН (грант № 64).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веригин Н.Н., Голубев В.С. // ДАН. 1975. Т. 233. № 6. С. 1355–1358.
2. Беликов В.Т. // Геология и геофизика. 1986. № 3. С. 110–113.
3. Аверкин Ю.А., Шарапов В.Н. // Геология и геофизика. 1987. № 4. С. 3–11.
4. Шарапов В.Н., Аверкин Ю.А. Динамика тепло- и массообмена в ортомагматических флюидных системах. Новосибирск: Наука. 1990. 188 с.
5. Шарапов В.Н., Черепанов А.Н., Попов В.Н., Черепанова В.К. // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 5. С. 635–647.
6. Karpov I.K., Chudnenko K.V., Kulik D.A., Bychinskii V.A. // Amer. J. of Sci. 2002. Vol. 302. P. 281–311.
7. Cherepanov A.N., Sharapov V.N., Cherepanova V.K. // Geochem. Intern. 2000. V. 38. Suppl. 1. P. 5133–5140.
8. Рычагов С.Н., Белоусов В.И., Главатских С.Ф. и др. // Вулканология и сейсмология. 2002. № 4. С. 3–21.
9. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Физматгиз. 1963. 709 с.
10. Наумов В.Б., Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Дорофеева В.А. // Геохимия. 2000. № 5. С. 555–564.
11. Полянский О.П., Ревердатто В.В. // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 1. С. 27–41.
12. Polyanskii O.P., Reverdatto V.V., Sverdlova V.G. // Geochem. Intern. 2002. V. 40. № 1. P. S69-S81.
13. Polyansky O.P., Reverdatto V.V., Khomenko A.V., Kuznetsova E.N. // J. of Geochem. Explor. 2003. V. 78–79. P. 687–692.