

Р.И. Пашкевич, Д.В. Мамаев

**ОЦЕНКА ЭВОЛЮЦИИ РАЗМЕРА МАГМАТИЧЕСКОГО
ОЧАГА КОШЕЛЕВСКОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ПО МЕТОДУ АК. С.А. ФЕДОТОВА**

Исследован тепловой баланс периферического магматического очага под Кошелевской геотермальной системой. Оценены размер магматического очага и эволюция его размера на основе термодинамической модели проточного очага.

Ключевые слова: периферический магматический очаг, проточный магматический очаг, тепловой баланс, Кошелевская магматогенная геотермальная система.

1 Возраст периферического магматического очага

Согласно [3] к концу среднечетвертичного – верхнечетвертичного времени в недрах Кошелевского массива образовалось магматическое тело, приближенное к поверхности и вытянутое вдоль субширотной разломной зоны. Основываясь на анализе данных, представленных в [3], возраст периферического магматического очага в недрах Кошелевской магматогенной геотермальной системы принимается равным величине около 60 тыс. лет. Обоснование данного предположения будет приведено в отдельной работе.

2. Эволюция размера магматического очага

Эволюция магматических очагов на основе термодинамической модели исследовалась академиком Федотовым в работах [6, 7, 8, 11], где было показано изменение со временем размеров периферических и коровых магматических очагов под несколькими камчатскими вулканами: Авачинский, Безымянный, Желтовский, Ильинский, Ключевской и Шивелуч. В этих работах представлена модель проточного магматического очага, в предположении, что полость очага образуется за счет плавления и замещения вмещающих пород магматическим материалом. В результате извержений породы коры выносятся на дневную поверхность. В основе математической модели [6] ле-

жит дифференциальное уравнение теплового баланса (1) для сферического магматического очага:

$$L_c \rho_c \frac{dr}{dt} = Q_m - Q_c, \quad (1)$$

где r – текущий радиус очага; t – время; L_c – удельная теплота плавления вмещающих пород; ρ_c – плотность вмещающих пород; Q_m – плотность теплового потока, направленного из магмы к стенке очага; Q_c – плотность теплового потока, направленного от стенки очага во вмещающие породы.

Величины плотностей тепловых потоков Q_m и Q_c могут быть вычислены по формулам [6]:

$$Q_m(t) \approx \frac{W(t) \rho_m c_m (T_1 - T_2)}{4\pi r^2(t)}, \quad (2)$$

$$Q_c(t) = -\lambda_c (T_2 - T_c) \left(\frac{1}{r(t)} + \frac{1}{\sqrt{\pi \chi_c t}} \right), \quad (3)$$

где ρ_m – плотность магмы; c_m – удельная теплоемкость магмы; λ_c – удельная теплопроводность вмещающих пород; χ_c – удельная температуропроводность вмещающих пород; T_1 – температура втекающей в очаг магмы; T_2 – температура поверхности очага; T_c – начальная температура вмещающих пород на глубине залегания очага до его образования; $W(t)$ – объемный расход магмы.

В термодинамической модели используется ряд упрощений. Не учитывается влияние дневной поверхности на распределение температуры в очаге и вмещающих породах, т.е. считается, что очаг находится в бесконечной среде. Не принимаются во внимание процессы дифференциации магмы в очаге, которые в действительности несколько искажают тепловое поле в нем. Принимается, что магматический очаг, зарождаясь, имеет сферическую форму и сохраняет ее в течение всего процесса. Температура поверхности очага T_2 принимается равной температуре солидуса.

Задача расчета радиуса магматического очага, изменяющегося со временем, представляет собой задачу Коши для дифференциального уравнения (1) с некоторыми начальными зна-

чениями времени и радиуса. В расчетах принимались: удельная теплота плавления пород 419 Дж/г; удельная теплопроводность пород 2,0 Вт/м·К; удельная температуропроводность пород $6,7 \cdot 10^{-7}$ м²/с; плотность пород $2,65 \cdot 10^3$ кг/м³; плотность магмы $3,0 \cdot 10^3$ кг/м³; удельная теплоемкость магмы 3,0 Дж/г·К; функция $W(t)$ – из работы [5].

Глубина залегания магматического очага под Кошелевским вулканическим массивом неизвестна. Ниже принимается, что апикальная часть очага находится на границе между четвертичными вулканитами и меловым фундаментом, кровля которого по данным [2] в районе Кошелевского массива погружена на глубину 2,5–3,5 км. Примем, что апикальная часть очага залегает на глубине 3000 м. Из графика океанической геотермы, приведенного в работе [10], получена температура вмещающих пород $T_c = 157^\circ\text{C}$ на этой глубине. Для решения уравнения (1) помимо прочих величин требуется значение величины входной температуры T_1 . Воспользовавшись методом, изложенным в работах [9, 10], оцениваем температуру втекающей в очаг магмы $T_1 = 1073^\circ\text{C}$. Оценка выполнена при условии, что плавление базальтов может происходить при температуре 1500°C на глубине 140 км [1].

Решив уравнение (1), можно найти зависимость радиуса магматического очага от времени. На рис. 1 изображены графики найденных зависимостей для различных температур поверхности очага T_2 .

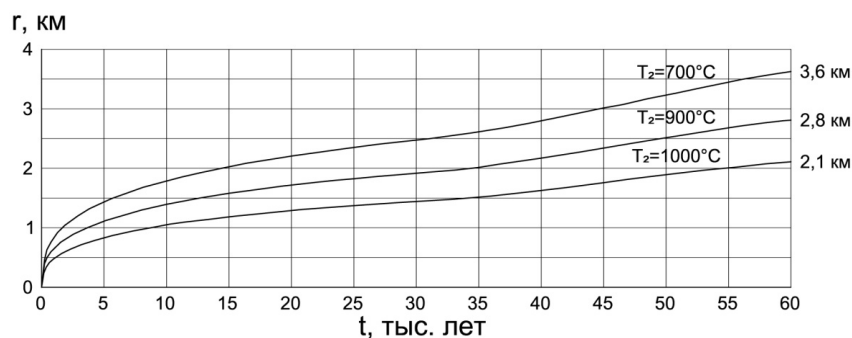


Рис. 1. Зависимость радиуса сферического магматического очага Кошелевской геотермальной системы от времени с начала его зарождения (60 тыс. лет назад) до настоящего времени

Кошелевский вулканический массив сложен преимущественно из горных пород андезитбазальтового состава [4]. Поэтому следует использовать график, соответствующий температуре $T_2 = 900$ °С, близкой к наиболее вероятной температуре солидуса андезитбазальтовых магм [6]. Таким образом, величина 2,8 км является оценкой наиболее вероятного радиуса периферического магматического очага Кошелевской геотермальной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геншафт Ю.С. Экспериментальные исследования в области глубокой минералогии и петрологии. М.: Наука. – 1977. – 206 с.
2. Зубин М.И. Геофизические поля и глубинное строение по геофизическим данным // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. Под. ред. Масуренкова Ю.П. М.: Наука. – 1980. – С.10–19.
3. Леонов В.Л. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука. – 1989. 104 с.
4. Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н., Литасов Н.Е. Четвертичные вулканы // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. Под. ред. Масуренкова Ю.П. М.: Наука. – 1980. – С.105–116.
5. Пашкевич Р.И., Мамаев Д.В. О расходе магмы Кошелевской геотермальной системы // ГИАБ №11, Специальный выпуск №63 «Камчатка-2». – 2015. С. 228–233.
6. Уткин И.С., Федотов С.А., Уткина Л.И. Об эволюции и размерах магматических очагов вулканов // Вулканология и сейсмология. – 1999. №3. – С.7–18.
7. Федотов С.А. О входных температурах магм, образовании, размерах и эволюции магматических очагов вулканов // Вулканология и сейсмология. – 1980. – №4. – С.3–29.
8. Федотов С.А. Расчет питающих каналов и магматических очагов вулканов, имеющих устойчивые размеры и температуру // Вулканология и сейсмология. – 1982. – №3. – С.3–17.
9. Федотов С.А., Горицкий Ю.А. Тепловой расчет цилиндрических питающих каналов и расхода магмы для вулканов центрального типа. Часть I // Вулканология и сейсмология. – 1979. – №6. – С.78–93.
10. Федотов С.А., Горицкий Ю.А. Тепловой расчет цилиндрических питающих каналов и расхода магмы для вулканов центрального типа. Часть II // Вулканология и сейсмология. – 1980. – №1. – С.3–15.
11. Fedotov S.A., Utkin I.S., Utkina L.I. Evaluation of the Sizes of Crustal Magma Chambers Beneath Volcanoes and of Their Time Behavior Based on the Volume and Composition of Erupted Materials and Chamber Depth // Journal of Volcanology and Seismology. – 2000. – Vol.22. – №3. – P.239–258. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Пашкевич Роман Игнатьевич – доктор технических наук, директор, pashkevich@kscnet.ru,
Мамаев Дмитрий Викторович – научный сотрудник, nigtc@kscnet.ru,
Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

ESTIMATION THE SIZE EVOLUTION OF MAGMA CHAMBER OF THE KOSHELEV GEOTHERMAL SYSTEM BY METHOD OF ACADEMICIAN S.A. FEDOTOV

Pashkevich R.I., Doctor of Technical Sciences, Director, pashkevich@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia,

Mamaev D.V., Research Scientist, nigtc@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia.

The heat balance of the peripheral magma chamber under the Koshelev geothermal system was investigated. It estimates the size of magma chamber and evolution of its size on the basis of the thermodynamic model of flowing magma chamber.

Key words: peripheral magma chamber, flowing magma chamber, heat balance, Koshelev magmatogenic geothermal system.

REFERENCES

1. Genshaft Ju.S. *Ehksperimental'nye issledovaniya v oblasti glubinnoj mineralogii i petrologii* (Experimental research in the field of deep Mineralogy and Petrology). Moscow: Nauka. 1977. 206 p.
2. Zubin M.I. *Dolgozhivushhij centr ehndogennoj aktivnosti Juzhnoj Kamchatki* (Geophysical fields and deep structure according to geophysical data). Moscow: Nauka. 1980. pp.10–19.
3. Leonov V.L. *Strukturnye usloviya lokalizacii vysokotemperaturnykh gidroterm* (Structural conditions of localization of high-temperature hydrothermal). Moscow: Nauka. 1989. 104 p.
4. Ogorodov N.V., Kojemyaka N.N., Litasov N.E. *Chetvertichnye vulkany* (Quaternary volcanoes). Moscow: Nauka. 1980. pp.105–116.
5. Pashkevich R.I., Mamaev D.V. *About flow rate of magma at the Koshelev geothermal system* (The flow of magma Koshelevsky geothermal system) // GIAB №11, «Kamchatka-2» (special issue). 2015. pp. 228–233.
6. Utkin I.S., Fedotov S.A., Utkina L.I. *Vulkanologiya i seismologiya* (Volcanology and seismology). 1999. No 3. pp.7–18.
7. Fedotov S.A. *Vulkanologiya i seismologiya* (Volcanology and seismology). 1980. No 4. pp.3–29.
8. Fedotov S.A. *Vulkanologiya i seismologiya* (Volcanology and seismology). 1982. No 3. pp.3–17.
9. Fedotov S.A., Gorickij Ju.A. *Vulkanologiya i seismologiya* (Volcanology and seismology). 1979. No 6. pp.78–93.
10. Fedotov S.A., Gorickij Ju.A. *Vulkanologiya i seismologiya* (Volcanology and seismology). 1980. No 1. pp.3–15.
11. Fedotov S.A., Utkin I.S., Utkina L.I. *Evaluation of the Sizes of Crustal Magma Chambers Beneath Volcanoes and of Their Time Behavior Based on the Volume and Composition of Erupted Materials and Chamber Depth* (Thermal design of a cylindrical feed channels and flow of magma for volcanoes of the Central type) // Journal of Volcanology and Seismology. 2000. Vol.22. No 3. pp.239–258.