

Р.И. Пашкевич, Д.В. Мамаев

**О РАСХОДЕ МАГМЫ КОШЕЛЕВСКОЙ
ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

Установлена динамика объемного расхода магмы Кошелевской геотермальной системы по аналогии с фильтрацией жидкости в водоносном пласте на основе решения уравнения Буссинеска в приближении Дюпюи.

Ключевые слова: расход магмы, уравнение Буссинеска, приближение Дюпюи, Кошелевская геотермальная система.

Изменение объемного расхода магмы важно знать при решении вопроса о тепловом питании Кошелевской магматогенной геотермальной системы, оценке геометрических и тепловых параметров магматического очага и геотермального резервуара. В работе [9] предлагается модель геометрической формы вулканов, основанная на аналогии с фильтрацией грунтовых вод в незамкнутом водоносном пласте. В модели предполагается, что тело вулкана представляет собой однородную пористую среду, через которую происходит фильтрация магмы. Течение магмы через тело вулкана аналогично течению грунтовых вод в незамкнутом водоносном пласте. Предполагается, что поверхность вулкана, подобно зеркалу грунтовых вод в незамкнутом водоносном пласте, является поверхностью постоянного гидростатического напора, которая может быть описана уравнением Буссинеска в приближении Дюпюи. Достигая поверхности, магма покидает пористую среду и сама образует новые элементы объема постройки вулкана. Поэтому пористость среды полагается $\varphi \equiv 1$ [9]. Высота точки на поверхности вулкана h на расстоянии r от проекции его вершины на основание и расстояние r находятся из системы уравнений [9]:

$$\begin{cases} h = \sqrt[2]{\frac{W}{K_{\phi}}} \cdot f \\ r = \sqrt[4]{K_{\phi} W t^2} \cdot \eta \end{cases}, \quad (1)$$

где W – объемный расход магмы; t – время формирования конуса вулкана, K_{ϕ} – коэффициент фильтрации. Безразмерные переменные подобия f и η подчиняются дифференциальному уравнению [9]:

$$f(\eta)f''(\eta) + (f'(\eta))^2 + \frac{1}{\eta}f(\eta)f'(\eta) + \frac{\eta}{2}f'(\eta) = 0 \quad (2)$$

с граничными условиями (2) и (3):

$$f'(\eta) = -\frac{\eta_0}{2}, \quad \eta = \eta_0, \quad (3)$$

$$\eta f(\eta)f'(\eta) \rightarrow \frac{1}{2\pi}, \quad \eta \rightarrow 0. \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение (2) с граничными условиями (3) и (4) решалось с помощью программного комплекса Mathematica 4.1, методом Адамса. Решение изображено на рис. 1. В точке $\eta = 0$ решение имеет особенность второго рода.

Несмотря на то, что Кошелевский вулканический массив имеет линейную хребтообразную форму, к нему применима модель радиального растекания, так как отдельные вулканы массива представляют собой сросшиеся осесимметричные постройки, сформированные в разное время в результате миграции эруптивного центра в направлении с запада на восток [1, 2, 4, 5].

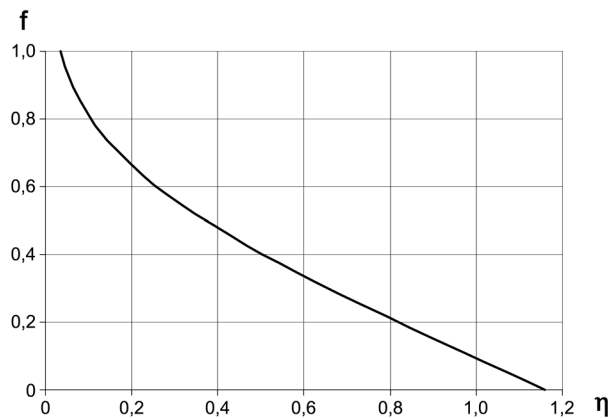


Рис. 1. Расчетная форма вулкана в безразмерных переменных f и η

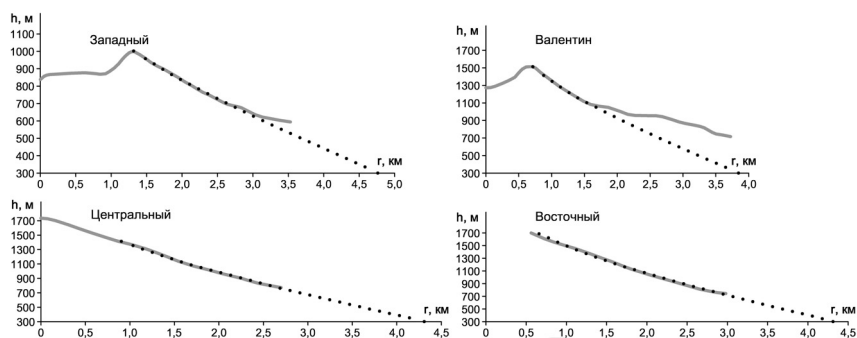


Рис. 2. Профили вулканов Кошелевского массива: сплошные линии – фактические; пунктирные – расчетные

На рис. 2 изображены фактические и расчетные по модели (1–4) профили, проведенные вкrest вулканического хребта через центр конкретного вулкана массива. Для каждого вулкана задавалось время t (табл., при условии их последовательной работы, начиная с Западного). Из системы (1), используя решение (рис. 1), находилась пара значений коэффициентов в (1) при f и η , которая давала наилучшее совпадение расчетного и фактического профилей вулкана. Из указанных пар значений определялись объемный расход магмы и коэффициент фильтрации (табл.).

Расчетные профили не пригодны вблизи вершин, где они имеют особенность второго рода, и где неприменимо приближение Дюпюи [9]. Из рис. 2 видно, что лучшее совпадение расчетных профилей с фактическими наблюдается для более молодых вулканов (Центрального и Восточного). Вблизи подножий более старых (Валентин и Западный) наблюдается худшее совпадение. Согласно имеющимся геологическим данным [1, 2, 8] здесь принято, что фундаментом Кошелевского вулканического массива является толща миоцен-плиоценовых вулканитов, кровля которой находится на абсолютной высоте 300 м.

В настоящее время приблизительно известны лишь относительные датировки для каждой постройки Кошелевского вулканического массива. Время формирования каждого конуса (табл.) было определено по данным [1, 2, 6, 8].

Суммарный расчетный объем изверженных пород 94 км^3 в соответствии с табл. оказался примерно в 1,5 раза больше оценки

Таблица

| Вулкан | t , тыс. лет | W , $\cdot 10^3$ км ³ /год | K_{ϕ} , $\cdot 10^3$ км/год |
|-------------|----------------|---|----------------------------------|
| Восточный | 10 | 2,762 | 0,691 |
| Центральный | 10 | 2,474 | 0,769 |
| Валентин | 20 | 1,024 | 0,294 |
| Западный | 20 | 1,082 | 0,656 |

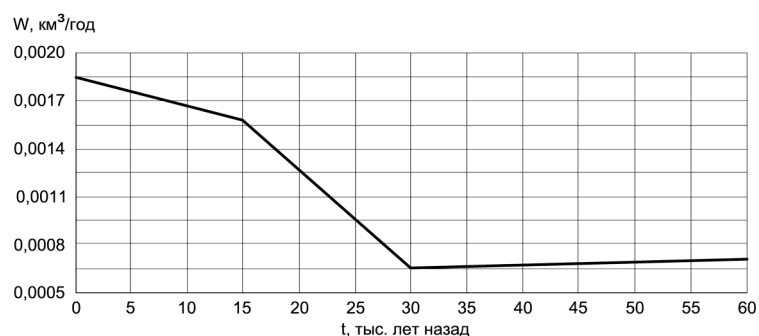


Рис. 3. График объемного расхода магмы на Кошелевском вулканическом массиве

объема Кошелевского вулканического массива 60 км^3 по данным [3]. Поэтому расход магмы из табл. был уменьшен в 1,5 раза для каждого вулкана. На рис. 3 изображено изменение расчетного расхода магмы во времени.

Полученная функция $W(t)$ (рис. 3) использовалась в работе [7] для оценки радиуса магматического очага Кошелевской геотермальной системы по методу ак. С.А. Федотова. Полученные в результате выполненных расчетов оценки объемного расхода магмы Кошелевской геотермальной системы можно использовать для определения размеров ее магматического очага при термогидродинамическом моделировании тепломассопереноса в системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блукке П.П., Писарева М.В., Киндяков С.В. Проект детальных поисков глубоких зон Нижне-Кошелевского месторождения парогидротерм для обеспечения теплоносителем 1 очереди Кошелевской ГеоТЭС мощностью 94 – 100 МВт с предварительной разведкой его центральной части в 1989 – 1995 гг. Книга 1. Пос. Термальный Камчатской области. – 1989. – 193 с.

2. Вакин Е.А., Декусар З.Б., Сержников А.И., Сличенкова М.В. Гидротермы Кошелевского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток. – 1976. – С.58–84.

3. Кожемяка Н.Н., Огородов Н.В., Литасов Н.Е., Важеевская А.А. Общая характеристика зоны четвертичного вулканизма // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. Под. ред. Масуренкова Ю.П. М: Наука. – 1980. – С.28–33.

4. Кожемяка Н.Н. О некоторых региональных особенностях действующих вулканов Камчатки: динамика интенсивности и продуктивности вулканизма во времени и пространстве // Вулканология и сейсмология. – 2000. – №1. – С.18–23.

5. Леонов В.Л. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука. – 1989. – 104 с.

6. 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.

7. Пашкевич Р.И., Мамаев Д.В. Оценка эволюции размера магматического очага Кошелевской геотермальной системы по методу ак. С.А. Федотова // ГИАБ №11, Специальный выпуск №63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 223–227.

8. Поздеев А.И., Нажалова И.Н. Геология, гидродинамика и нефтегазоносность Кошелевского месторождения парогидротерм, Камчатка // Вулканология и сейсмология. – 2008. – №3. – С.32–45.

9. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика: Геологические приложения физики сплошных сред. Ч. 2. Пер. с англ. – М.: Мир. – 1985. – 360 с. **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.



UDC 551.213.1+532.511

ABOUT FLOW RATE OF MAGMA AT THE KOSHELEV GEOTHERMAL SYSTEM

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.

Dynamics of volumetric flow rate of magma at the Koshelev geothermal system is estimated as analogy with the infiltration fluid in aquifer based on the Boussinesq equation in approximation of Dupuit.

Key words: flow rate of magma, Boussinesq equation, Dupuit approximation, Koshelev magmatogenic geothermal system.

REFERENCES

1. Blukke P.P., Pisareva M.V., Kindjakov S.V. *Proekt detal'nykh poiskov glubokikh zon Nizhne-Koshelevskogo mestorozhdenija parogidroterm dlja obespechenija teplositelem 1 ocheredi Koshelevskoj GeoTEhS moshhnost'ju 94 – 100 MVt s predvaritel'noj razvedkoj ego central'noj chasti v 1989 – 1995 gg* (Kondakov Project detailed searches deep zones of the lower-Koshelevsky deposits parameters to ensure coolant 1 queue Koshelevsky Geothermal power station with a capacity of 94 – 100 MW with a preliminary exploration of its Central part in 1989 – 1995). Kniga 1. Pos. Termal'nyj Kamchatskoj oblasti. 1989. 193 p.
2. Vakin E.A., Dekusar Z.B., Serezhnikov A.I., Spichenkova M.V. *Gidrotermal'nye sistemy i termal'nye polja Kamchatki* (Spichenkova thermal springs Koshelevsky volcanic massif). Vladivostok. 1976. pp.58–84.
3. Kozhemjaka N.N., Ogorodov N.V., Litasov N.E., Vazheevskaja A.A. *Dolgozhivushhij centr ehndogennoj aktivnosti Juzhnoj Kamchatki* (General characteristics of the Quaternary volcanism areas). Moscow: Nauka. 1980. pp.28–33.
4. Kozhemjaka N.N. *Vulkanologija i sejsmologija* (Volcanology and seismology). 2000. No 1. pp.18–23.
5. Leonov V.L. *Strukturnye uslovija lokalizacii vysokotemperaturnykh gidroterm* (Structural conditions of localization of high-temperature hydrothermal). Moscow: Nauka. 1989. 104 p.
6. Ogorodov N.V., Kozhemjaka N.N., Litasov N.E. *Dolgozhivushhij centr ehndogennoj aktivnosti Juzhnoj Kamchatki* (Quaternary volcanoes long-lived center of endogenic activity in southern Kamchatka). Moscow: Nauka. 1980. pp.105–116.
7. Pashkevich R.I., Mamaev D.V. *Estimation the size evolution of magma chamber of the Koshelev geothermal system by method of academician S.A. Fedotov* (assessment of the evolution of the size of the magma chamber Koshelevsky geothermal system by the method of AK. S. A. Fedotov) // GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue). 2015. pp. 223–227.
8. Pozdeev A.I., Nazhalova I.N. *Vulkanologija i sejsmologija* (Volcanology and seismology). 2008. No 3. pp.32–45.
9. Turcotte D., Schubert G. *Geodynamics: Applications of Continuum Physics to Geological Problems* (Geodynamics: Geological applications of continuum physics). Vol. 2. Moscow: Mir. 1985. 360 p.