

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФУЗИВОВ СЕВЕРНОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ

В.М. Ладыгин¹, Ю.В. Фролова¹, В.М. Округин², О.А. Гирина²

¹ Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова skalka@geol.msu.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

В течение многих лет сотрудники кафедры инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В.Ломоносова совместно с сотрудниками института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН проводили исследования по изучению петрофизических свойств эффузивов различных вулканов Камчатки. Наиболее интересные результаты уже были ранее опубликованы в различных статьях [Ладыгин и др., 1998, Ладыгин и др., 2002]. В этой работе мы хотели как обобщить прежние результаты, так и показать ряд новых, и еще раз вернуться к теме использования петрофизических данных в изучении процессов вулканизма.

Исследования петрофизических свойств эффузивов Северной группы вулканов (Ключевской, Камень, БТТИ, Безымянный) могут оказать помощь в решении ряда вопросов вулканизма, таких как: проблемы генезиса и условий образования эффузивов, динамика извержений, расчленение мощных толщ вулканитов и т.д. На каждом из вышеуказанных вулканов решался тот или иной аспект, связанный с их извержениями.

В ходе работ были получены следующие петрофизические показатели: плотность (ρ г/см³), плотность твердой фазы (ρ_s г/см³), пористость (П %), водопоглощение (W %), скорость продольных волн (V_p км/с), прочность (Rc МПа), магнитная восприимчивость ($\chi \cdot 10^{-3}$ ед.СИ).

Ключевской вулкан. Для этого вулкана характерно образование на различных высотах (от 450 до 4000м) его склонов большого количества (около 100) побочных прорывов магмы с формированием лавовых потоков. Во время полевых работ были отобраны и исследованы базальты из 33 побочных прорывов (250 проб). По данным [Активные вулканы...1985] побочные извержения вулкана можно объединить в 6 возрастных групп: I. < 100 лет назад; II. 150-1000 лет назад; III. 1500-2000 лет; IV. 2000-2500 лет; V. 2500-4000 лет; VI. более 4000 лет. По данным петрофизического анализа в истории развития вулкана намечается три периода, в каждый из которых формировались эффузивы с близкими значениями петрофизических свойств - более 4000 лет назад (VI группа-Подкова), 1000-4000 лет назад (III, IV, V группы Келля», «Очки», «Лагерный», «Пещерный», «Холм», «8», «Придорожный», «Лопастной», «Прибрежный», «Шиш», «М», «Левашова», «Д», «Сыр», «База», «Предсказанный», «Слюнина», «Псевдогоршок», «Засыпанный», «Срезанный», «Булочка», «К», «И».) до 1000 лет (I, II возрастные группы- «Апахончич», «Былинкина», Белянкина, Юбилейный, 8 марта, Билюкай, Пийпа, Псевдотуйла, «О») (табл.1). Они отличаются, прежде всего, величинами плотности твердой фазы (2.78 -2.9-2.84 г/см³) связанными с различиями в химическом составе расплава. От древних к молодым базальтам наблюдается увеличение пористости (П): 9 - 13.5 - 17 %, снижение прочности - 157 - 128 - 102 МПа и скорости продольных волн.

Таблица 1. Петрофизические свойства эффузивов Ключевского вулкана

возраст, лет	MgO	П %	ρ_s г/см ³	V_p км/с	$V_{рв}$, км/с	Rc МПа	χ $\times 10^{-3}$ ед.СИ	К-во проб	
1	<100	6.02	17	2.84	2.7	4.25	101	8.2	77
	150-1000	6,16	17	2,85	2,45	4,05	107	8,4	8
	Среднее	6,03	17	2,84	2,65	4,25	102	8,2	85
2	1500-2000	6,92	14,5	2,88	2,9	4,35	130	6,6	20
	2000-2500	7,32	15	2,9	2,85	4,05	120	5,4	33
	2500-4000	7,87	12	2,91	2,75	4,15	134	6,3	39
	Среднее	7,47	13,5	2,9	2,8	4,15	128	6	92
3	>4000	3,83	9,5	2,78	3,25	4,5	157	8	8

В эффузивах II периода зафиксированы наиболее низкие значения магнитной восприимчивости ($\% = 6 \cdot 10^{-3}$ СИ), в отличие от верхних и нижних частей временного разреза $> 8 \cdot 10^{-3}$ СИ. Для современных базальтов отмечается снижение $\%$ по мере увеличения абсолютной отметки прорыва (с 10^* до $5.7 \cdot 10^{-3}$ СИ). Установлено устойчивое изменение значений свойств по мере уменьшения степени кристаллизации породы - от офитовой через интерсертальную и гиалопилитовую к витрофировой прослеживается уменьшение плотности 2.65-2.44-2.29-1.58 г/см³, U_p -2.85-2.85-2.7-2.5 км/с, прочности - 163-122-92-41 МПа. Величина $\%$ практически не меняется у трех первых разновидностей, но резко снижается у последней- 6.4 - 7.1 - 7.2 - $1.8 \cdot 10^{-3}$ ед. Си, что может свидетельствовать о заметной дифференциации магнитной составляющей в потоках базальтов.

Вулкан «Камень» является наименее изученным среди вышеуказанных вулканов. В связи с этим, первые результаты анализа петрофизических свойств, полученные на образцах, собранных в ходе полевых работ отрядом Т. Чуриковой, нам представляются важными. Эффузивы, судя по величине $\%$ относятся к базальтам и андезибазальтам с порфириковой структурой (плагиоклазы, пироксены, оливины) и гиалопилитовой, интерсертальной, микроделеритовой структурой основной массы. По своим свойствам они близки аналогичным эффузивам Ключевского вулкана (табл. 2). Нужно отметить чрезвычайно низкие значения скоростей упругих волн при малой величине пористости, значительное увеличение показателей U_p при водонасыщении, значительные изменения величины χ .

Таблица 2. Петрофизические свойства эффузивов вулкана Камень

№ обр.	Плотн.	Плотн.тв	Порист	Vp сух.	Vp(влаж)	Rc(сух)	χ
	г/см ³	г/см ³					
14	2,75	2,93	6,1	2,3	3,1	212	57
15	2,55	2,79	8,6	4,6	5,2	1 1 1	26
16	2,7	2,88	6,2	3,7	4,55	259	45
17	2,45	2,79	12,2	2,6	4	75	24
18	2,65	2,87	7,7	2,6	4,65	99	7
19	2,7	2,79	3,2	2,3	3	123	12
21	2,45	2,75	10,9	4	5,15	134	26
28	2,5	2,84	12	3,2	4,6	134	37
29	2,7	2,9	6,9	2,3	3,5	221	38
30	2,65	2,93	9,6	3	4,4	179	30
2	2,6	2,9	10,3	2,8	4	163	20
5	2,6	2,9	10,3	3,2	4	146	40

Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ). Как известно [БТТИ, 1984], в ходе извержения БТТИ происходила смена излияний от основных магнезиальных базальтов умеренной щелочности, через промежуточные к высокоглиноземистым, субщелочным, причем на Северном прорыве можно было отчетливо проследить последовательность излияния каждого потока. В наших исследованиях мы использовали результаты анализа 197 проб эффузивов Северного прорыва и 189 Южного прорыва. Излияния в одном месте и в одно.время столь различных по химии расплавов позволило сравнить вулканические породы, образовавшихся при застывании этих расплавов, и понять, как изменяются в связи с этим их петрофизические свойства. Изменения свойств базальтов Северного прорыва происходят постепенно, причем меняются все показатели (табл. 3).

Таблица 3. Динамика изменения петрофизических свойств эффузивов в ходе извержения Северного прорыва БТТИ

№ потоков	Состав магмы	Магнезиальный				Промежуточный		
		1	2	5	6	13-15	12	12а
	Свойства							
	Плотн.	г/см ³	1,99	2,53	2,55	2,49	2,28	2,14 2,67

Плотн.тв.фазы.	г/см ³	2,98	3,0	2,98	2,96	2,96	2,91	2,91
Пористость	%	33	15	14	15	25	26	13
Скор.прод.волн	км/с	4,7	4,45	4,5	4,25	4,05	3,65	3,6
Скор.попер.вол	км/с	2,85	2,75	2,65	2,7	2,5	2,3	2,35
Прочность	МПа	69	115	162	131	85	80	159
Магнит.воспр.	10 ⁻³ ед.СИ	4	5	6	7	4	9	14
Кол. обр.		11	14	34	74	24	11	30
Время излиян.	начало	29.7	2.8	12.8	30.8	8.9	6.8	15.9
потоков (1974)	конец	9.8	9.8	30.8	6.9	13.9	14.9	15.9
число/месяц								

Магматические расплавы разного химического состава при излиянии на поверхность образовали потоки различного вида: магнезиальные потоки мощные, короткие; промежуточные - небольшой мощности (1-3 м), но длинные, ветвистые; высокоглиноземистые - мощностью до 90 см, большой протяженности, в понижениях рельефа мощность потока резко увеличивается до десятка метров, образуют лавовые озера. В целом для всех базальтов не установлена взаимосвязь между плотностью и скоростью продольных волн.

Свойства пород, слагающих эти потоки, отличаются по петрофизическим параметрам. Во всех потоках наблюдается заметная дифференциация всех свойств, что необходимо учитывать при отборе образцов для исследований (табл. №4). Скорость продольных волн снижается (или остается прежней) к центральным частям потоков. Наибольшие значения магнитной восприимчивости характеризуют породы средних частей потоков, а для базальтов Северного прорыва и нижних его частей.

Таблица 4. Петрофизические свойства потока базальтов Северного прорыва

Глубина см	ρ г/см ³	$\rho_{п.т.ф.}$ г/см ³ Г	п, %	W %	V _{р.} км/с	V _{р.в.} км/с	R _c МПа	X. *10 ⁻³ ед СИ
10-25	2,24	2,99	24	5,3	4,7	5,0	123	5
25-35	2,31	2,96	22	4,8	4,4	4,8	100	6
35-45	2,45	2,93	17	2,0	3,4	4,5	88	9
45-55	2,56	2,93	13	1,8	4,0	4,8	130	6
75-85	2,43	2,93	18	2,8	5,0	5,5	127	И

Вулкан Безымянный. Этот вулкан интересен тем, что в нем отчетливо выделяются три фациальные группы вулканических продуктов: экструзивные купола, лавовые и пирокластические потоки. Г.Е. Богоявленская [1957] выделила 3 группы экструзий, отличающихся составом пород; О.А. Брайцева [1990] показала, что лавовые потоки имеют различный возраст и состав, и разделила их на шесть групп. Сравнительный анализ петрофизических свойств их показал, что породы, принадлежащие этим группам, резко отличаются друг от друга (табл. 5) что позволяет использовать эти данные при определении фациальной принадлежности в немых толщах вулканитов.

Таблица 5. Петрофизические свойства различных фаций вулканитов вулкана Безымянный

Группа	Плотн. г/см ³	ρ_s г/см ³ \	порист. %	скор.пр. волн км/с	прочн. на одноос. еж. МПа	магн.восп * 10 ⁻³ ед. СИ
1.	1,85	2,78	24,5	2,6	34	7,9
2. А)	2,37	2,75	12,4	2,2	91	7,5
Б)	2,29	2,76	15,8	3,1	95	6,8
В)	2,16	2,75	24,5	2,6	76	6,4
3. А)	2,43	2,8	10,9	3,9	110	6,9

Б)	2,37	2,8	14,5	2,5	101	9,1
----	------	-----	------	-----	-----	-----

Примечание, 1~ пирокластические потоки, 2- экструзии: А) современные. Б) 1 группа. В) 2 группа; 3- лавы: А) современные, В) Q_{3,4}

Для всех эффузивов, образовавшихся из вулканов этой группы, получена зависимость между плотностью твердой фазы и содержанием SiO₂ (табл. 6), что позволяет быстро провести классификацию эффузивов.

Таблица 6. Взаимосвязь между величиной плотности твердой фазы и содержанием SiO₂ в эффузивах

SiO ₂ %	Пл.т.ф.г\см ³
45-53	>2.86
53-57	2.77-2.86
57-64	2.59-2.77

Эффузивы всех исследованных вулканов Камчатки, имеющих голоценовый и верхнечетвертичный возраст, обладают низкими значениями скоростей упругих волн (<4.5 км/с), которые не зависят от величины пористости, размена пор, типа структуры породы. Причем такие величины U_p имеют даже эффузивы обладающие маленькой плотностью менее 5-8 %. Такая специфика пород уже отмечалась ранее для голоценовых вулканитов Камчатки [Ладыгин 1980] и связана с микротрещиноватостью эффузивов, образующейся при их застывании. Эта особенность молодых эффузивов (голоценовые, верхне и частично среднечетвертичные эффузивы). нашла подтверждение в микрофотографиях (ув. до 500^x) полученных с помощью флуоресцентного микроскопа. Этот эффект заканчивается на границе 250-400 000 лет. У более древних эффузивов микротрещиноватость пропадает, и величина U_p становится «нормальной». Такая закономерность присуща всем исследованным молодым эффузивам из многих районов мира и может быть дополнительной характеристикой для определения возраста отложений вулканов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (08 05-0074~а)

Список литературы

- Активные вулканы и гидротермальные системы Камчатки.** Дальневосточный научный центр. Петропавловск-Камчатский:институт вулканологии.1985.228с.
- Богоявленская Г.Е.** Вулкан Безымянный и его экструзивные образования. Бюлл. вулканол. стан.1957. №26.с.3-13.
- Большое трещинное Толбачинское извержение.** Камчатка. 1975-1976. Наука. М. 1984. 637 с.
- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Богоявленская Г.Е., Максимов А.П.** Вулкан Безымянный: история формирования и динамика активности. Вулканология и сейсмология. 1990. № 2. С. 3-22.
- Ладыгин В.М., Никитин С.Н.** О некоторых особенностях свойств молодых эффузивов Камчатки. Вестник МГУ. Сер. геол. 1980. № 5.
- Ладыгин В.М., Округин В.М.** Петрофизические свойства базальтов Большого Трещинного Толбачинского Извержения. Вестник МГУ. Сер. геол. 1998. №3. С. 45-49.
- Ладыгин В.М., Фролова Ю.В.** Особенности астрофизических свойств эффузивов Ключевского вулкана. Вулканология и сейсмология. 2002. № 3 С. 28-32.