

УДК 551.21+551.79(235.132)+552.313.1+552.323.4

## ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАВОВЫХ ПОТОКОВ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ, КАМЧАТКА

© 2012 г. В. М. Ладыгин<sup>1</sup>, О. А. Гирина<sup>2</sup>, Ю. В. Фролова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова,  
Воробьевы горы, 119992 Москва

e-mail: skalka\_1@mail.ru

<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пуйпа, 9

Поступила в редакцию 16.01.2012 г.

Представлены результаты исследования лавовых потоков вулкана Безымянный различного возраста — от древних (около 3500 лет назад) до современных (1985–1989 гг.). Приводится подробная характеристика состава, строения и петрофизических свойств основных типов слагающих их пород — андезитов и андезибазальтов. Установлено, что главным фактором, определяющим свойства пород, является их пористость; влияние структурно-минералогических особенностей проявляется в меньшей степени. Показана динамика изменения свойств пород лавовых потоков в зависимости от их возраста: чем древнее породы, тем выше показатели их плотности и прочности и ниже значения пористости.

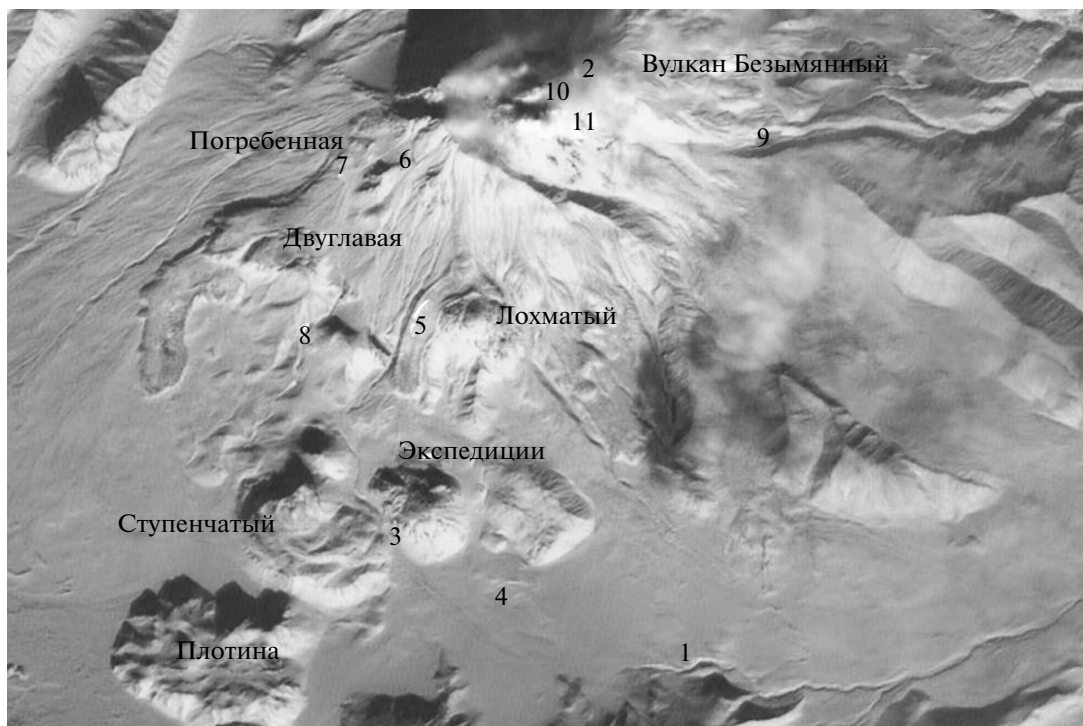
### ВВЕДЕНИЕ

Петрофизические свойства горных пород в полной мере отражают условия образования и все дальнейшие их преобразования, происходящие с момента зарождения пород — характер и состав первичной магмы, из которой образуются породы; количество флюидов в расплаве; разнообразие минералов, слагающих породу, их зарождение и рост, зависящие от температуры и давления; форма и характер срастания минералов и так далее. Эти же вопросы интересуют геологов и вулканологов. Поэтому сведения, полученные при петрофизических исследованиях, могут дать дополнительную информацию об особенностях образования пород, их возрасте, характере извержений и т.д. [Алыпova, 1967; Гирина, 1998; Ладыгин, Никитин, 1980; Ладыгин, Округин, 1998; Ладыгин, Фролова, 2002, 2006; Козырев и др., 1989; Козырев, 1990, и др.].

Известно, что для Камчатки наиболее характерны вулканы двух типов — базальтовые (например, Ключевской, Толбачик) и андезибазальтово-андезитовые (например, Безымянный, Авачинский, Мутновский). Если для базальтовых вулканов уже получены обширные данные о петрофизических свойствах слагающих их пород [Алыпova, 1967; Ладыгин, Никитин, 1980; Козырев, 1990; Ладыгин, Округин, 1998; Ладыгин,

Фролова, 2002, и др.], то для андезитовых вулканов такие данные немногочисленны [Алыпova, 1967; Гирина, 1998; Козырев и др., 1989; Ладыгин и др., 2004, и др.]. У авторов статьи имеются образцы пород со всех трех вышеупомянутых андезитовых вулканов (имеющих различный возраст) и в перспективе планируется провести сравнительный анализ их петрофизических свойств. Первая статья из этой серии посвящена эффузивным породам вулкана Безымянный.

Вулкан Безымянный расположен на склоне древнего вулкана Камень в центре Ключевской группы. Абсолютная высота вулкана до пароксизмального извержения 1956 г. составляла 3085 м, в настоящее время — около 2900 м. Возраст собственно вулкана Безымянный — около 5.5 тыс. лет, Пра-Безымянный — 10.5–11.0 тыс. лет [Брайцева, 1990; Богоявленская и др., 1991]. После извержения 1956 г. вулкан Безымянный стал одним из самых известных в мире. Появились многочисленные публикации, касающиеся различных аспектов извержений как 1956 г., так и последующих лет [Горшков, Богоявленская, 1963; Богоявленская, Кирсанов, 1981; Брайцева, 1990; Кирсанов, 1979; Максимов и др., 1991; Толстых и др., 1999, и др.]. В них обсуждались вопросы динамики извержений, истории развития вулкана, изучения строения и состава лав, но очень мало затрагива-



**Рис. 1.** Схема расположения изученных лавовых потоков вулкана Безымянный.

1 — самые древние в руч. Тундровый; 2 — на северо-восточном борту эксплозивного кратера 1956 г. вулкана; 3 — между экструзиями Экспедиция и Ступенчатая; 4 — южнее домика вулканологов; 5 — между экструзивными куполами Пестрые хребтики и Лохматый; 6 — под экструзией Высокая; 7 — рядом с экструзией Погребенная; 8 — между экструзиями Двуглавая и Гладкая; 9 — в ущелье между вулканами Безымянный и Камень; 10 — на куполе Новый (1981–1983 гг.); 11 — на куполе Новый (1985–1989 гг.). Схема создана на основе спутникового снимка ASTER от 23 января 2005 г.

лись петрофизические особенности пород, образовавшихся при этих процессах, что на наш взгляд обедняет сведения о характере активности этого вулкана. В настоящей работе впервые представлены данные о свойствах эффузивов вулкана Безымянный, образование и становление которых происходило в период между 3500 лет назад и 1985–1989 гг.

Вулкан состоит из двух частей: восточной — наиболее древней, и западной — молодой. В строении вулкана огромную роль играет древний экструзивный купол, остатки которого можно было наблюдать на южной и северной стенах эксплозивного кратера, образовавшегося в 1956 г. Купол был сложен грубообломочными породами, прорванными дайками. Западная часть вулкана представляет собой типичный стратовулкан.

Деятельность вулкана имела пульсационный характер [Брайцева, Кирьянов, 1982; Брайцева и др., 1990]. Каждый период активизации характеризовался закономерной сменой состава вулкаников от кислых разностей через более основные снова к более кислым.

## ЛАВОВЫЕ ПОТОКИ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ

Вулкан Безымянный является уникальным объектом, так как в течение достаточно длительного времени его становления сформировались различные фации магматических образований: экструзивные куполы, лавовые и пирокластические потоки. На сложную эволюцию магматических расплавов, приведшую к формированию пород вулкана Безымянный, указывают различные авторы [Богоявленская и др., 2004; Кадик и др., 1986; Озеров и др., 1997; Толстых и др., 1999; Almeev et al., 2004].

Как стратовулкан, конус вулкана Безымянный сложен многочисленными лавовыми потоками, перемежающимися с прослоями вулканогенных обломочных пород. Наиболее хорошо лавовые потоки обнажаются в северной, южной и юго-восточной частях постройки вулкана. Наиболее протяженные и мощные потоки лавы отмечаются на южном и юго-западном склонах вулкана (рис. 1). Кроме этого, при формировании лавового купола внутри эксплозивного кратера 1956 г., начиная с

**Таблица 1.** Химический состав лав вулкана Безымянный I–V возрастных групп по [Брайцева и др., 1990]

Лавы	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
V	58.0–60.4	0.5–0.8	17.4–18.2	2.2–2.6	3.5–4.6	0.1	3.0–4.1	6.8–7.4	3.2–3.6	1.3–1.8	0.2
IV	57.6–58.2	0.6	17.4–17.7	1.9–2.3	4.0–4.6	0.15	4.9–5.3	6.8	3.3–3.5	1.5–1.6	0.25
III	59.0–59.2	0.7	17.2	2–2.5	3.5–4.4	0.16	3.9–4.4	6.9–7.1	3.4–3.5	1.5–1.6	0.25
II	54.3–57.0	0.5–1.0	17.1–18.7	2.1–3.1	4.0–6.0	0.1–0.2	4.1–5.2	7.7–8.8	3.0–3.1	1.1–1.6	0.28
I	54.4	0.8	17.4	2.7	5.7	0.15	5.6	8.8	3.0	1.2	0.18

1977 г. почти ежегодно происходило излияние лавовых потоков, завершавших эксплозивные фазы извержений, связанных с ростом лавового купола [Богоявленская, Кирсанов, 1981; Гирина, Горбач, 2006; Малышев, 2000, и др.].

О.А. Брайцева с соавторами [1990] выделяют три периода активизации вулкана Безымянный за последние 2.5 тыс. лет (**Б-I, Б-II, Б-III**) и шесть возрастных групп лавовых потоков (I, II, III, IV, V, VI).

1. Лавовые потоки возрастной группы I (около 3500 лет назад (л.н.)) (двупироксеновые андезибазальты).

2. Вулканы периода активизации **Б-I** (2400–1700 л.н.):

а) лавовые потоки возрастной группы II (двупироксеновые андезибазальты);

б) лавовые потоки возрастной группы III (двупироксеновые андезиты).

3. Вулканы периода активизации **Б-II** (1350–1000 л.н.):

а) лавовые потоки возрастной группы IV (двупироксеновые андезиты);

б) лавовые потоки возрастной группы V (роговообманково-пироксеновые андезиты).

4. Вулканы периода активизации **Б-III** (1955 г. – настоящее время) – лавовые потоки возрастной группы VI (роговообманково-пироксеновые андезиты).

Породы собственно стратовулкана Безымянный на первом этапе его деятельности отвечают по составу андезибазальтам с содержанием SiO<sub>2</sub> от 54 до 57 вес. %.

Вулканы периода Б-I охватывают широкий диапазон эффузивов от андезибазальтов до андезитов с содержанием SiO<sub>2</sub> от 54.3 до 59.2 вес. % (табл. 1). Породы периода Б-II по составу отвечают андезитам с содержанием SiO<sub>2</sub> от 57.6 до 60.4 вес. %. Лавы современного этапа Б-III изменяются по составу от андезитов в 1956 г. (59–60 вес. % SiO<sub>2</sub>) до

андезибазальтов (56–58 вес. %) [Брайцева и др., 1990].

К лавовым потокам отнесены вулканические образования, имеющие явно выраженные геометрические формы – преобладание длины над шириной и мощностью. Лавовые потоки были опробованы в юго-восточной и северной частях вулкана, а также вблизи экструзивных куполов: Экспедиции, Ступенчатая, Лохматый, Высокая, Погребенная, Двуглавая, Гладкая. Всего исследовано 113 образцов лав. Получены данные по химическому составу пород, а также определены их физические и физико-механические свойства: плотность ( $\rho$ ), плотность твердой фазы ( $\rho_0$ ), пористость ( $n$ ), величина водопоглощения ( $W$ ), скорости продольных волн в сухом ( $V_{рс}$ ) и водонасыщенном ( $V_{рв}$ ) состояниях, магнитная восприимчивость ( $\epsilon$ ), прочность на сжатие в сухом ( $R_s$ ) и водонасыщенном ( $R_{св}$ ) состояниях.

Породы лавовых потоков, отобранные для исследования, было довольно трудно привязать по возрасту к тому или иному периоду вулканической активности, так как не всегда в поле можно было обнаружить и охарактеризовать тот или иной маркирующий горизонт тефры по [Брайцева и др., 1990]. В большинстве случаев привязкой лавовых потоков служило то или иное экструзивное образование (см. рис. 1), в связи с этим описание эффузивных пород приведено по порядку, указанному в таблице 2.

#### ЛАВОВЫЕ ПОТОКИ ВОЗРАСТНОЙ ГРУППЫ I–V

1. Мы определенно выделяем *самые древние породы* (лавы возраста I), слагающие потоки лавы мощностью от 2 до 5–7 м в урезе руч. Тундровый (см. табл. 2 и рис. 1). В основном это андезибазальты с содержанием SiO<sub>2</sub> 54.5%, темно-серого цвета с большим количеством (до 20–40%) серийно-порфиновых вкрапленников (размером от 0.3

**Таблица 2.** Лавовые потоки района вулкана Безымянный

№ п/п	№ образца	Адрес	Порода
1	Б-1 (а–ж)	ручей Тундровый	андезибазальты двупироксеновые
2	831011 (1–14) Б-14 (а, б, в)	северо-восточный борт эксплозивного кратера 1956 г. вулкана Безымянный	андезибазальты двупироксеновые (только 2 потока – андезиты роговообманковые)
3	Б-2 (а, б, в)	между экструзиями Экспедиция и Ступенчатая	андезибазальты двупироксеновые
4	Б-18 (а, б, в, г)	Южнее домика вулканологов	андезибазальты двупироксеновые
5	Б-19	Между экструзивными куполами Пестрые хребтики и Лохматый	андезибазальты двупироксеновые
6	Б-23 (а, б, в, г)	Под экструзией Высокая	андезиты роговообманковые
7	Б-25 (а, б, в, г, д)	Рядом с экструзией Погребенная	андезиты роговообманковые
8	Б-27 (а, б, в, г, д, е)	Между экструзиями Двуглавая и Гладкая	андезибазальты афировые
9	Б-34 (а, б, в) Б-35 Б-36	Ущелье между вулканами Безымянный и Камень	андезибазальты двупироксеновые

до 1.5 мм) плагиоклазов и пироксенов, последних меньше. В большинстве кристаллов плагиоклаза есть зоны, обогащенные включениями вулканического стекла. В андезибазальтах встречаются единичные мелкие кристаллы оливина. Структура основной массы разнообразная – от интерсертальной до гиалопилитовой. Она сложена микролитами плагиоклазов размером менее 0.1 мм, обычно вытянутой формы; в значительно меньшем количестве представлены изометричные кристаллы пироксенов, в промежутках между которыми располагается светлое стекло. Рудные минералы представлены титаномагнетитом, встречающимся в виде мелких (менее 0.05 мм) кристаллов или тонкой рудной пыли.

Эффузивы обладают повышенными показателями физико-механических свойств (табл. 3). Это плотные породы, обладающие небольшой пористостью (менее 10%), высокой прочностью, низкими значениями  $V_p$  (в основном менее 3 км/с) в сухом состоянии и значительными при водонасыщении. Можно отметить, что повышенные значения магнитной восприимчивости принадлежат породам, где рудный минерал встречается не в виде отдельных кристаллов, а в виде тонкой пыли. В верхней части потоков (Б-1ж) породы более пористые с гиалопилитовой структурой основной массы.

2. Внутри эксплозивного кратера 1956 г., в котором растет купол Новый, в северо-восточном его борту, был опробован ряд лавовых потоков собственно стратовулкана Безымянный (см. табл. 2 и рис. 1). Лавовые потоки достаточно разнообразны. Они представлены преимущественно андезибазальтами, сложенными порфиоровыми разностями, где вкрапленниками служат плагиоклазы (20–30%) и пироксены (15–25%), как ромбические так и моноклинные (последних больше). Большая часть вкрапленников имеет размеры до 0.5–1 мм, крупные кристаллы (до 3 мм) редки. В плагиоклазах много зон с вулканическим стеклом. Основная масса разнообразна и имеет различную структуру: микроофитовую, интерсертальную и гиалопилитовую; сложена она преимущественно микролитами плагиоклазов (размером менее 0.1 мм) и пироксенов (до 0.05 мм) и вулканическим стеклом в различных соотношениях.

Среди этих пород выделяются андезиты с вкрапленниками роговой обманки и микролитовой структурой основной массы (см. табл. 3), которые отличаются необычно низкими значениями  $V_p$  даже среди остальных эффузивов.

3. Эффузивы между экструзиями Экспедиции и Ступенчатая (см. табл. 2 и рис. 1). Опробован один поток мощностью 3 м, с четко видимой подошвой и кровлей. Поток сложен андезибазальтами темно-серого цвета, с большим количеством

Таблица 3. Физико-механические свойства пород лавовых потоков вулкана Безымянный

№ образца	$\rho$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_0$ г/см <sup>3</sup>	$n$ %	W %	$V_{рс}$ км/с	$V_{рв}$ км/с	Rs МПа	Rsv МПа	$\alpha \cdot 10^{-3}$ ед. СИ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
в руч. Тундровый									
Б-1 а	2.6	2.91	8.5	1.8	2.3	3.7	142	—	25.4
Б-1 б	2.58	2.91	9.2	0.8	3.2	4.8	168	104	87
Б-1 в	2.63	2.91	7.4	0.9	2.5	4.4	157	—	53.1
Б-1 г	2.65	2.91	6.7	1.4	3.7	4.7	195	147	57.7
Б-1 д	2.73	2.91	3.9	0.8	2.7	4.4	214	118	29.7
Б-1 з	2.68	2.91	5.6	1.1	2.75	4.35	221	172	29
Среднее	2.65	2.91	6.8	1.1	2.85	4.4	183	—	46
Б-1 ж	2.22	2.91	21.8	2.3	2.3	4.35	53	52	14.2
в северо-восточном борту эксплозивного кратера 1956 г. вулкана Безымянный									
831011-2	2.46	2.82	12.8	1.5	3.75	4.25	99	99	8.5
831011-3	2.63	2.82	6.7	0.7	4.3	5.0	163	—	6.0
831011-3 а	2.51	2.82	11.0	0.9	3.1	4.5	114	96	0.0
831011-4	2.66	2.83	6.0	1.1	4.4	5.0	192	154	8.0
831011-5	2.18	2.79	21.9	4.8	2.5	4.0	70	59	3.1
831011-5 а	2.15	2.79	22.9	7.6	2.3	3.75	60	56	3.0
831011-6	2.71	2.8	3.2	1.1	3.25	4.1	207	191	7.0
831011-7	2.57	2.8	8.2	1.2	2.7	4.25	125	76	4.5
831011-8	2.56	2.82	9.2	1.2	2.8	3.95	135	—	6.7
831011-9	2.49	2.81	11.4	0.9	2.75	4.3	88	85	8.0
831011-10	2.5	2.75	9.1	1.9	2.35	3.55	95	83	7.3
831011-11	2.6	2.83	9.9	1.4	3.45	4.05	110	—	7.3
831011-14	2.65	2.82	6.0	1.1	3.4	4.05	182	182	8.7
<b>831011-15</b>	<b>2.47</b>	<b>2.74</b>	<b>9.9</b>	<b>3.3</b>	<b>1.8</b>	<b>2.45</b>	<b>127</b>	<b>117</b>	<b>9.8</b>
<b>831011-16</b>	<b>2.45</b>	<b>2.74</b>	<b>10.6</b>	<b>3.8</b>	<b>1.85</b>	<b>2.55</b>	<b>91</b>	<b>84</b>	<b>2.0</b>
Б-14 а	2.64	2.8	5.7	1.3	2.2	3.9	161	102	10.6
Б-14 б	2.43	2.8	13.2	1.5	2.6	4.1	107	96	8.0
Б-14 в	2.2	2.8	21.4	6.6	2.45	3.9	75	45	6.5
между экструзиями Экспедиция и Ступенчатая									
Б-2 а	2.7	2.83	4.6	1.2	2.85	4.25	203	180	8.3
Б-2 б	2.51	2.83	11.3	1.6	2.8	4.3	128	118	6.1
Б-2 в	2.46	2.83	13.1	1.2	2.7	4.3	89	89	5.3
южнее домика вулканологов									
Б-18 а	2.36	2.82	16.3	1.6	3	4.65	100	100	22.1
Б-18 б	2.31	2.82	18.1	1.6	3	4.5	73	—	22.1
Б-18 в	2.06	2.82	26.9	1.9	2.6	4	66	60	15.2
между экструзивными куполами Пестрые хребтики и Лохматый									
Б-19 а	2.48	2.84	12.7	2.3	3.6	4.5	86	85	22.1
Б-19 б	2.49	2.84	12.3	1.8	3.3	4.25	90	—	25.0
под экструзией Высокая									
Б-23 а	2.23	2.71	17.7	4.8	1.75	2.75	75	—	35
Б-23 б	1.87	2.71	31.0	10	1.95	2.35	18	16	28.3
Б-23 г	1.49	2.71	45.0	22	1.95	1.95	35	23	10.8

Таблица 3. Окончание

№ образца	$\rho$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_0$ г/см <sup>3</sup>	$n$ %	W %	$V_{рс}$ км/с	$V_{рв}$ км/с	$R_s$ МПа	$R_{sv}$ МПа	$\alpha \cdot 10^{-3}$ ед. СИ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
рядом с экструзией Погребенная									
Б-25 а	2.49	2.79	10.7	2.1	1.9	3.5	126	—	43.0
Б-25 б	2.43	2.79	12.9	—	1.95	—	72	—	33.0
Б-25 в	2.09	2.79	25.1	5.5	2.25	3.5	56	—	15.5
Б-25 г	2.4	2.79	14.0	—	2.0	—	80	—	20.5
Б-25 д	2.42	2.79	13.3	—	1.7	—	94	—	10.0
между экструзиями Двуглавая и Гладкая									
Б-27 а	2.67	2.88	7.3	1.1	3.25	4.5	190	—	49.5
Б-27 б	2.45	2.88	14.9	1.8	2.95	4.2	140	99	42.9
Б-27 в	2.63	2.88	8.7	1.1	3.4	4.65	146	—	45.0
Б-27 г	2.63	2.88	8.7	0.3	3.15	4.45	166	103	45.0
в ущелье между вулканами Безымянный и Камень									
Б-34 а	2.51	2.82	11.0	0.7	2.5	4.45	125	87	33.3
Б-34 б	2.41	2.82	14.5	1.7	2.2	4.25	79	66	30.0
Б-34 в	2.26	2.82	19.9	3.7	2.3	3.9	50	43	40.0
Б-34 в	2.2	2.82	22.0	—	2.35	—	45	—	33.0
Б-34 в	2.1	2.82	25.5	—	2.2	—	23	—	33.0
Б-35	2.6	2.82	7.8	1.1	2.9	4.3	151	118	27
Б-36	2.31	2.82	18.1	3.9	2.8	4.35	67	—	41.6
лавовые потоки на куполе Новый, сформированные в 1981–1983 гг.									
831012-1	2.15	2.73	21.2	—	1.9	2.65	28	—	8.7
831012-1 а	2.04	2.73	25.3	—	1.85	2.7	25	25	9.3
831012-2	2.1	2.73	23.1	7	1.9	2.3	56	42	10.7
831012-3	1.86	2.71	31.4	11	1.75	2.1	36	33	1.4
831012-3 а	1.83	2.71	32.5	—	1.8	1.85	24	24	1.5
831012-6	1.88	2.73	31.1	—	1.8	2.3	29	26	5
831012-6 а	1.83	2.73	33.0	—	1.8	2.15	22	22	5
831012-7	1.87	2.73	31.5	—	2.05	2.15	27	23	4.1
831012-7 а	1.82	2.73	33.3	—	1.9	—	21	—	4.1
лавовые потоки на куполе Новый, сформированные в 1985-1989 гг.									
Г-2889-2 6-й слой	1.13	2.68	57.8	27.3	1.6	2.15	2.9	—	16
Г-4389 5-й слой	1.57	2.7	41.9	28.4	1.5	—	5.8	—	14
По 186 г 4-й слой	1.77	2.69	34.2	23.7	1.8	2.7	24.5	—	7.6
Г-3589 А 4-й слой	1.92	2.68	28.4	17.7	1.65	2.5	39	—	30
Г-3589 Б 3-й слой	2.03	2.71	25.1	12.8	1.75	2.5	47	—	32
Г-3889-3 3-й слой	1.77	2.71	34.7	26.9	1.65	3.3	—	—	—
Г-3889-2 3-й слой	1.95	2.71	28.0	9.4	2.05	—	—	—	25
Г-3889-1 3-й слой	2.15	2.71	20.7	3.7	2.1	3	65	—	38
Г-3289 2-й слой	2.01	2.75	26.9	18.5	1.8	2.35	42.8	—	27
Г-3389-3 1-й слой	2.32	2.67	13.1	6.7	1.5	2.3	88	—	45
99-84-2 1-й слой	2.28	2.7	15.6	7.1	1.85	2.95	78.5	—	38
<b>17-85-3 1-й слой</b>	<b>2.47</b>	<b>2.69</b>	<b>8.2</b>	<b>4.9</b>	<b>2.0</b>	<b>3.4</b>	<b>169</b>	<b>—</b>	<b>47</b>

Примечание. 831011-15 и 831011-16 – андезиты с вкрапленниками роговой обманки и микролитовой структурой основной массы; 17-85-3 – андезиты с отдельными кристаллами оранжевой роговой обманки.

серийно-порфировых вкрапленников плагиоклазов и пироксенов (размером от 0.3 до 1.5 мм) и гломеропорфировых сростков моноклинных пироксенов такого же размера. В меньшем количестве встречаются ромбические пироксены размером до 1 мм. Структура основной массы интерсертально-микроофитовая и сложена микролитами плагиоклазов, кристаллами пироксенов (моноклинных и ромбических) и незначительным количеством вулканического стекла (менее 10%). Практически весь поток представлен именно массивными разностями, лишь в самой верхней части появляются пористые разности мощностью до 0.2–0.4 м. Поры мелкие, неправильные, размером до 1 мм, по объему породы распределены довольно равномерно. Там, где мощность потока уменьшается до 0.7 м, порода становится более пористой и приобретает гиалопилитовую структуру, в связи с появлением большого количества коричневого вулканического стекла. Все свойства пород закономерно меняются от массивных разностей к пористым (см. табл. 3).

4. *Эффузивы южнее домика вулканологов* (см. табл. 2 и рис. 1). Поток сложен темно-серыми порфировыми андезибазальтами, большей частью пористыми, лишь изредка массивными. Порфировые вкрапленники двух разновидностей – крупные плагиоклазы размером до 1.5 мм с включениями вулканического стекла, и более мелкие – размером до 0.5 мм, представленные плагиоклазами и пироксенами моноклинными и ромбическими (последних значительно меньше). Количество вкрапленников – до 15–20%. Основная масса имеет гиалопилитовую структуру. Вулканическое стекло коричневого цвета, в него погружены микролиты плагиоклазов и в меньшей степени пироксенов. Рудных минералов немного. Показатели свойств также понижаются при переходе от массивных пород к пористым (см. табл. 3).

5. *Эффузивы между экструзивными куполами Пестрые хребтики и Лохматый* (см. табл. 2 и рис. 1). Андезибазальты темно-серые, аналогичные вышеописанным лавам возле домика вулканологов. Свойства их также похожи, лишь отличаются немного повышенной плотностью (см. табл. 3).

6. *Эффузивы под экструзией Высокая* (см. табл. 2 и рис. 1). Андезиты серые и красные, с одинаковой порфировой структурой. Вкрапленники размером от 0.5 до 1.5 мм представлены плагиоклазами и оранжевыми кристаллами роговой обманки. Основную массу породы в самых пористых разностях слагают плагиоклазы и мелкие кристаллы роговой обманки. Все микролиты имеют размер менее 0.05 мм. Основным структурным элементом является светлое прозрачное вулканическое стекло,

создающее гиалопилитовую структуру породы. Андезиты с роговой обманкой обладают низкими показателями плотности и скорости продольных волн в сравнении с другими рассмотренными породами (см. табл. 3).

7. *Эффузивы рядом с экструзией Погребенная* (см. табл. 2 и рис. 1). Андезиты темно-серые, пористые, массивных разностей визуально не наблюдается. Порфировые вкрапленники размером от 0.5 до 1.5 мм представлены плагиоклазом, роговой обманкой и моноклинным пироксеном, причем количество плагиоклазов и роговой обманки примерно одинаково. Вкрапленники составляют 30–40% породы. Основная масса сложена микролитами плагиоклазов, вулканическим стеклом и редкими кристалликами роговой обманки. Структура основной массы интерсертальная, гиалопилитовая. Для пород характерны средние значения плотности и прочности, низкие скорости продольных волн (см. табл. 3).

8. *Эффузивы между экструзиями Двуглавая и Гладкая* (см. табл. 2 и рис. 1). Андезибазальты серых, зеленоватых, темно-серых окрасок, с плитчатой отдельностью, имеют массивный облик, пористых разностей нет. Породы имеют афировую структуру. Встречаются единичные кристаллы плагиоклазов размером до 1 мм и более мелкие – до 0.3 мм. Основная масса сложена длинными, вытянутыми микролитами плагиоклазов, между которыми находятся вытянутые кристаллики моноклинных пироксенов длиной менее 0.08 мм. Количество их в основной массе не превышает 25–30%. Структура основной массы – интерсертально-микроофитовая. Физико-механические свойства этих андезибазальтов имеют самые высокие по сравнению с другими лавовыми потоками вулкана Безымянный значения всех показателей (см. табл. 3).

9. *Эффузивы в ущелье между вулканами Безымянный и Камень* (см. табл. 2 и рис. 1). Андезибазальты темно-серые с порфировой структурой. Вкрапленники представлены крупными, размером до 2 мм, кристаллами плагиоклазов – зональными, с включениями стекла, и более мелкими (до 1 мм) кристаллами моноклинных и ромбических пироксенов, причем первые образуют гломеропорфировые сростки размером до 2 мм. Основная масса имеет гиалопилитовую структуру – в коричневое стекло погружены микролиты и кристаллиты плагиоклазов, а также в значительно меньшем количестве пироксенов и рудных минералов. Свойства этих пород сходны с лавовыми потоками, расположенными рядом с экструзией Погребенная (см. табл. 3).

## ЛАВОВЫЕ ПОТОКИ ВОЗРАСТНОЙ ГРУППЫ VI (1955 г. — настоящее время)

В первые двадцать лет (1956–1976 гг.) развитие вулкана Безымянный заключалось в выжимании пластичных и жестких куполов в эксплозивном кратере 1956 г., рост которых сопровождался мощными эксплозиями с образованием пеплово-глыбовых пирокластических потоков [Кирсанов, 1979]. В этот период не происходило излияний лавовых потоков.

Появление первого вязкого лавового потока на куполе впервые было отмечено в феврале 1977 г. [Богоявленская, Кирсанов, 1981]. С этого времени началась новая фаза активности вулкана, которая продолжается и поныне. Отличительной чертой этого периода является четкая стадийность развития извержения вулкана: медленное выжимание блока вязкой лавы на вершине купола, пепловые эксплозии различной мощности, небольшой направленный взрыв, формирование пирокластических потоков, выжимание вязкого лавового потока на склон купола вулкана [Ладыгин и др., 2004]. Скорость формирования лавовых потоков на склоне купола варьировала от 3–4 см/ч (ноябрь 1981 г.) до 10 м/ч (июнь 1986 г.), мощность одного потока достигала 20–25 м [Мальшев, 2000].

В 1981–1983 гг. на склон купола Новый были выжаты три небольших вязких лавовых потока темно-серых тонкопористых андезитов мощностью до 4–7 м. Андезиты порфировой структуры, вкрапленники в количестве 5–15% были представлены плагиоклазами размером до 0.5–2.0 мм. Редко встречаются гломеропорфировые образования. Основная масса была сложена микролитами плагиоклазов размером от 0.05 до 0.3 мм, а также примерно такого же размера кристаллами пироксенов моноклинных и ромбических. В андезитах 1983 г. ромбические пироксены большей частью были окислены. Структура основной массы интерсерральная, вулканическое стекло (белое, прозрачное, с большим количеством кристаллитов) составляло 15–20% объема породы. Андезиты сильно пористые (до 21–35%), причем наиболее высокие значения пористости характерны для верхних частей потока (образцы с буквой а) (см. табл. 3). Несмотря на различную величину пористости пород, скорости продольных волн очень низкие, большей частью не превышают 2 км/с, со значительным увеличением этого параметра при водонасыщении андезитов. Для андезитов 1981 г. величина магнитной восприимчивости значительно уменьшается по направлению к верхним частям потока (см. табл. 3).

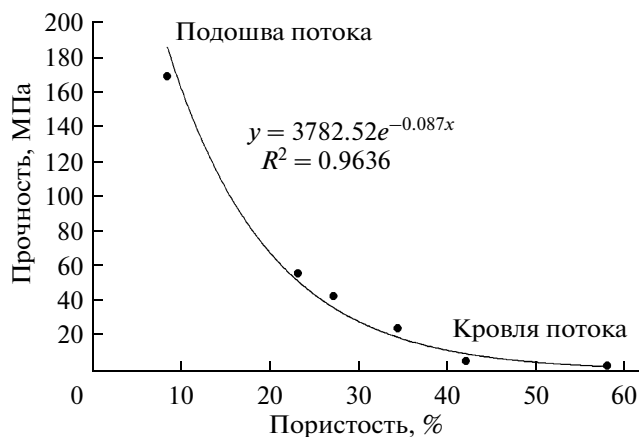
После наиболее сильного со времени катастрофы 1956 г. извержения вулкана Безымянный 30 июня–1 июля 1985 г., разрушенный сектор купола начал заполняться лавовыми потоками [Алидибиров и др., 1988]. Этот процесс продолжался до 1989 г., хотя на фоне излияния лавы в 1986 г. произошло два умеренных по силе эксплозивных извержения вулкана [Максимов и др., 1991; Мальшев, 2000]. Средняя скорость движения лавового потока по склону купола после июльского извержения 1986 г. была около 5–8 м/ч. Поток продвинулся по склону купола примерно на 500–550 м, мощность его была оценена в 10 м, и, соответственно, площадь его составила  $0.3 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ , объем —  $3 \cdot 10^6 \text{ м}^3$  [Мальшев, 2000]. Поток представлял собой, на первый взгляд, единую выжимку вязкой лавы с чешуевидной поверхностью, тело его было покрыто поперечными трещинами отрыва. В южной части лавового потока существовала вертикальная трещина, раскрытая к поверхности потока на первые метры. В этой трещине наблюдался постепенный переход от более плотных внутренних частей потока к вспененной краевой зоне. От глубинной части потока к поверхности выделены несколько зон андезитов: очень плотные светлые, менее плотные темно-серые до черных, и вспененные зеленовато-серые андезиты, слагавшие верхнюю поверхность потока [Ладыгин и др., 2004]. Последовательный ряд образцов пород из этой трещины на потоке был отобран О.А. Гириной во время полевых работ на вулкане Безымянный (тогда на лавовый поток купола поднялись также И.А. Кондрашов и А.Б. Белоусов).

Визуально в толще потока от подошвы к его кровле было выделено 6 условных слоев:

- 1) андезиты белесые, светло-серые, плотные (Г3389, 99-84, 17-85, 48-89);
- 2) андезиты серые, плотные (Г3289);
- 3) андезиты серые, зеленоватые, пористые (Г3589Б, Г3989, Г3889);
- 4) андезиты черные, относительно плотные (По186Г, Г3589А);
- 5) андезиты черные, пористые (Г4389);
- 6) андезиты серые, вспененные (Г2889).

Так как поток имеет довольно большую мощность — около 10 м, то условия кристаллизации в разных его частях были различны, возможно, что и само образование потока было сложным, что привело к некоторым петрографическим особенностям отдельных его частей. В целом, поток сложен лавами андезита с порфировой структурой. Вкрапленники представлены плагиоклазами, часто зональными, с включениями стекла, реже пироксенами моноклинными и ромбическими.





**Рис. 2.** Изменение средних показателей прочности и пористости от подошвы к кровле для современных лавовых потоков вулкана Безымянный, в частности для 1986–1989 гг.

Основная масса сложена теми же минералами и вулканическим стеклом. Размеры кристаллов колеблются от 0.5 до 2 мм. Количество вкрапленников варьирует от 10 до 25%. Вкрапленники ромбических пироксенов очень редки и по размерам значительно уступают плагиоклазам, находясь между вкрапленниками последних и их микролитами основной массы. Изредка в андезитах встречаются гломеропорфировые сростки, большей частью плагиоклазовые, но в редких случаях и с пироксенами (образцы 3389 и 4389). Основная масса сложена микролитами плагиоклазов размером от 0.1 до 0.5 мм. Микролиты короткостолбчатые, с четкими гранями. Содержание пироксенов составляет от 5 до 20%, встречаются как моноклинные, так и ромбические. У ромбических пироксенов кристаллы, в основном, имеют более вытянутую форму и их заметно меньше. Моноклинные пироксены более изометричной формы. В отдельных случаях пироксены с краев окислены – окружены черной полоской (образцы 4889, По186, 4389). Вулканическое стекло присутствует во всех образцах, хотя его количество довольно сильно варьирует от 5–20 % и до 30–50 % (образцы 1785, 4389, 3289). Стекло имеет различную окраску – от белого через светло-коричневатое (образцы 3289, По186, 3589, 2889, 1785) до коричневого (образец 4389). Так же меняется структура стекла – есть совершенно прозрачное, однородное, а встречается и с множеством мельчайших кристаллитов (образцы 9984, 1785, 3289, 4389, 2889). В зависимости от количества вулканического стекла меняется структура породы – от интерсертальной для большинства андезитов, до гиалопилитовой (образцы 4389,

1785), с различными переходами. В образце 1785 встречены отдельные кристаллы оранжевой роговой обманки размером до 1 мм, часто оплавленные. Кристаллы с опацитовыми каемками нередко окружены мелкими зернами рудных минералов. Различия в минеральном составе вызвали изменения химического состава пород и их свойств (см. табл. 3).

Наблюдается постепенное уменьшение содержания  $\text{SiO}_2$  в породах от подошвы к кровле потока почти на 1.8 вес. %. Наименьшее содержание  $\text{TiO}_2$  отмечается в средней части потока (в черных андезитах) – почти в 2.7 раза меньше, чем в его кровле и подошве. Содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  постепенно увеличивается на 1.2 вес. %, затем резко снижается в случае черных андезитов на 2.7 вес. %. Содержание  $\text{MgO}$  примерно одинаковое у всех андезитов. Содержание  $\text{CaO}$  несколько повышено у вспененных андезитов (в кровле потока), содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  немного повышено у черных андезитов. Содержание  $\text{K}_2\text{O}$  по сравнению с другими породами немного ниже у вспененных андезитов.

От подошвы к кровле потока четко прослеживается изменение физических и физико-механических свойств андезитов: плотность меняется от 2.47 до 1.13 г/см<sup>3</sup>, пористость от 8.2 до 57.8 %, прочность от 169 до 2.9 МПа, магнитная восприимчивость от 47 до  $16 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ (см. табл. 3). Практически не меняется (находится в пределах ошибок измерения) величина плотности твердой фазы (2.68–2.71 г/см<sup>3</sup>), также указывающая на состав пород, соответствующий андезитах. Наблюдаются определенные закономерности в изменениях свойств по разрезу потока. Плотность уменьшается, а пористость увеличивается от нижней части потока, представленной плотными андезитами, к средней и далее к верхней – к вспененным андезитах. Свойства пород, напрямую связанные с пористостью – водопоглощение и прочность, имеют такую же тенденцию – уменьшение значений от подошвы к кровле потока (см. табл. 3). Корреляционная зависимость средней прочности от средней пористости по слоям (от 1-ого к 6-ому) весьма тесная и определяется формулой:  $y = 378.52e^{-0.087x}$  с коэффициентом достоверности  $R^2 = 0.9636$  (рис. 2).

Необходимо отметить необычно низкие величины скорости продольных волн ( $V_p$ ) для воздушно-сухих андезитов, которые колеблются от 1.5 до 2.1 км/с, и совершенно не зависят от плотности и пористости породы.

Наибольшие величины магнитной восприимчивости характерны для андезитов нижних частей потока.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как показали исследования, из изученных 8 одиночных лавовых потоков на склонах вулкана (за исключением современных) 6 потоков принадлежат андезибазальтам и 2 потока — роговообманковым андезитам (см. табл. 2). Похожие андезиты слагают также всего два потока из 15 в разрезе вулканогенных пород в борту эксплозивного кратера 1956 г. вулкана Безымянный, что свидетельствует о преобладании в эффузивах вулкана андезибазальтов с плагиоклазами и пироксенами во вкрапленниках.

Разнообразие пород как по минеральному составу, так и по структурным особенностям, указывает на сложный характер вулканизма Безымянного. Разрез отложений соммы Безымянного охватывает весь спектр встречающихся в его окрестностях эффузивов, и этим подтверждается предположение, что лавовые потоки, наблюдающиеся вокруг вулкана, образовались при извержениях собственно вулкана Безымянный, и не связаны с многочисленными экструзиями вокруг него.

Минеральное разнообразие вкрапленников свидетельствует о различных термодинамических условиях кристаллизации расплава, которые вызвали изменения как в строении минералов, слагающих породу, так и в сочленении их друг с другом, и, по всей вероятности, послужили причиной разнообразия свойств лав.

Можно отметить, что наименьшими показателями физико-механических свойств обладают андезиты с вкрапленниками, представленными роговой обманкой. Более высокие показатели имеют андезибазальты, где вкрапленники представлены плагиоклазами и пироксенами. Самые высокие показатели физико-механических свойств имеют андезибазальты, в которых вкрапленники представлены плагиоклазами. В первую очередь, это связано с большей однородностью породы (вкрапленников не более 1–3% от общей массы образца). Микролиты представлены длинными, узкими, часто ориентированными, кристаллами плагиоклазов. Пироксенов в основной массе до 15%, рудных минералов — до 3%.

Изученные породы обладают, в большинстве своем, повышенными значениями пористости, обусловленными высокой газонасыщенностью магматических расплавов. Выяснилось, что массивных разностей (с пористостью менее 5–7%) в лавовых потоках практически нет.

Очень часто строение основной массы эффузивов (соотношение минеральных ее составляющих — плагиоклазов, пироксенов и вулканического стекла), является определяющим фактором

параметров физико-механических свойств. Андезибазальты вулкана Безымянный обладают гиалопилитовой, интерсертальной и микролитовой структурами основной массы, причем последняя встречается редко. Оказалось, что свойства этих главных разностей пород вулкана близки между собой (табл. 4 и 5), что, по-видимому, объясняется их высокой пористостью, которая затушевывает влияние структуры. Хотя, например, среди пород с гиалопилитовой структурой значительно меньше лав с плотностью более  $2.5 \text{ г/см}^3$  (6 из 35 образцов), чем среди эффузивов с интерсертальной структурой (16 из 36 образцов). Очень хорошо прослеживается и описывается экспоненциальной кривой зависимость прочности на одноосное сжатие от плотности лав (рис. 3). Она является одинаковой для пород с интерсертальной и гиалопилитовой структурами и выражается формулой:  $y = 0.3184e^{2.3652x}$  с коэффициентом достоверности  $R^2 = 0.8865$ .

Диапазон изменения основных петрофизических свойств эффузивов вулкана Безымянный следующий: плотность пород — в пределах от 1.13 до  $2.78 \text{ г/см}^3$ , но большинство ее значений (почти 70%) содержится в интервале от 2.3 до  $2.7 \text{ г/см}^3$ ; прочность лав на одноосное сжатие — в пределах двух порядков — от 2.9 до 221 МПа; скорость продольной волны — в пределах от 1.5 км/с до 4.4 км/с; магнитная восприимчивость: от 1.4 до  $57.7 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ.

Необходимо отметить, что скорости продольных волн большинства исследованных вулканитов являются небольшими. Это подтверждает сделанный ранее вывод в работе [Ладыгин, Никитин, 1980] о необычно низких скоростях эффузивов верхнечетвертичного — голоценового возраста. Такое явление отмечалось ранее для лав Авачинского, Мутновского и Ключевского и ряда других вулканов, и связано с микротрещиноватостью молодых эффузивов, обусловленной, в свою очередь, условиями застывания и кристаллизации этих пород [Ладыгин, Никитин, 1980].

Особенностью лав вулкана Безымянный является также то, что наименьшие значения магнитной восприимчивости относятся к современным лавовым потокам, наибольшие — к самым древним.

Выявлена следующая закономерность: чем древнее лавовые потоки, тем выше показатели свойств слагающих их пород. Этому есть объяснение. Судя по современным лавовым потокам вулкана Безымянный, формирование которых происходит с 1977 г., строение их зонально — от подошвы к кровле лавового потока наблюдается увеличение пористости пород (вплоть до вспенивания). Не раз отмечалось, что при эксплозивных

**Таблица 4.** Средние значения физико-механических свойств пород лавовых потоков вулкана Безымянный с различным видом вкрапленников

Вкрапленники в лавах	$\rho$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_0$ г/см <sup>3</sup>	$n$ %	W %	$V_{pc}$ км/с	$V_{pb}$ км/с	$R_s$ МПа	$R_{sb}$ МПа	$\alpha \cdot 10^{-3}$ ед. СИ
роговая обманка (10)	2.23	2.76	19.0	—	1.9	2.85	77.5	60	7.2
плагиоклазы и пироксены (24)	2.42	2.81	13.8	2.1	2.8	4.2	106	89	7.5
ортопироксены и клинопироксены (9)	2.54	2.86	10.9	1.4	2.85	4.3	142	126	7.4
Плагиоклазы (4)	2.59	2.88	9.9	1.1	3.2	4.45	160	101	14.0

Примечание. В скобках указано количество образцов.

**Таблица 5.** Средние показатели физико-механических свойств пород лавовых потоков вулкана Безымянный с различной структурой основной массы

Структура основной массы лавы	$\rho$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_0$ г/см <sup>3</sup>	$n$ %	$V_{pc}$ км/с	$R_s$ МПа	$\alpha \cdot 10^{-3}$ ед. СИ
интерсертальная	2.38	2.78	14.4	2.5	109	7.4
гиалопилитовая	2.30	2.81	13.9	2.45	81	8.0

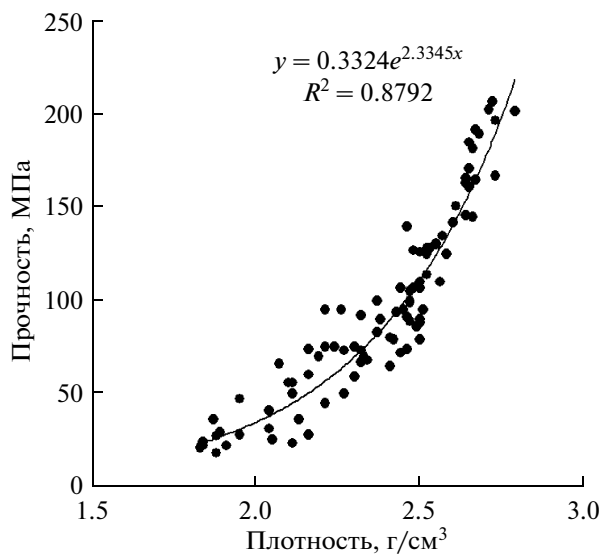
извержениях Безымянного происходит частичное разрушение и обрушение верхних “пористых слоев” (или зон) лавовых потоков, по которым двигались пирокластические потоки [Гирина и

др., 1993; Гирина, Горбач, 2006]. То есть, чем древнее лавовый поток, тем тоньше “пористый слой” в верхней части тела потока. Наиболее древние потоки представлены, вероятно, только нижним плотным слоем лавы, все остальные зоны (вспененная в первую очередь) разрушились с течением времени (в результате последующих извержений или под воздействием процесса выветривания) и слагают толщи обломочных пород, увеличивая таким образом долю вулканокластических пород в древних толщах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Геологический разрез стратовулкана Безымянный охватывает весь спектр встречающихся в его окрестностях отдельных эффузивов, что позволяет говорить о том, что изученные лавовые потоки образовались в результате извержений собственно вулкана Безымянный.

2. Петрографический состав пород лавовых потоков достаточно разнообразен: от роговообманковых андезитов до двупироксеновых андезибазальтов, что свидетельствует об излиянии из кратера вулкана различных по составу магматических расплавов. Большинство изученных лавовых потоков относится к андезибазальтам.

**Рис. 3.** Зависимость прочности от плотности для всех пород лавовых потоков вулкана Безымянный.

3. Практически все исследованные андезиты и андезибазальты обладают большой пористостью, что свидетельствует о высокой газонасыщенности магматических расплавов. Массивных разновидностей пород с низкой пористостью не обнаружено.

4. Исследованные породы обладают низкими значениями скоростей упругих волн, вне зависимости от структуры и пористости, что характерно для эффузивных пород верхнечетвертично-голоценового возраста.

5. Предполагается, что верхние, наиболее пористые части лавовых потоков относительно быстро разрушаются и увеличивают долю обломочного вулканогенного материала. Поэтому наиболее древние лавовые потоки представлены только своей нижней частью (подошвой) – наиболее прочными породами, не подвергшимися разрушению. Это необходимо учитывать при палеовулканологических исследованиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алидибиров М.А., Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т. и др.* Извержение вулкана Безымянный в 1985 г. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 6. С. 3–17.
- Алыпина О.М.* Некоторые данные о физических свойствах вулканических пород района Ключевской группы вулканов // Бюл. вулканол. станций. 1967. № 43. С. 56–62.
- Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В. и др.* Вулкан Безымянный // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 168–194.
- Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т.* Двадцать пять лет вулканической активности вулкана Безымянного // Вулканология и сейсмология. 1981. № 2. С. 3–13.
- Богоявленская Г.Е., Наумов В.Б., Толстых М.Л. и др.* Составы расплавов и условия кристаллизации андезитов вулканов Авачинский, Безымянный, Шивелуч и Карымский (по данным изучения расплавных включений) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 35–48.
- Брайцева О.А., Кирьянов В.Ю.* О прошлой активности вулкана Безымянный по данным тефрохронологических исследований // Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 44–55.
- 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.
- Гирина О.А.* Пирокластические отложения современных извержений андезитовых вулканов Камчатки и их инженерно-геологические особенности. Владивосток: Дальнаука, 1998. 174 с.
- Гирина О.А., Богоявленская Г.Е., Демянчук Ю.В.* Извержение вулкана Безымянный 2 августа 1989 г. // Вулканология и сейсмология. 1993. № 2. С. 8–16.
- Гирина О.А., Горбач Н.В.* Извержение вулкана Безымянный 11 января 2005 г. // Материалы международного симпозиума “Проблемы эксплозивного вулканизма (к 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный)”. 25–30 марта 2006 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2006. С. 85–94.
- Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е.* Вулкан Безымянный и особенность его последнего извержения в 1955–1963 гг. М.: Наука, 1965. 172 с.
- Кадик А.А., Максимов А.П., Иванов Б.В.* Физико-химические условия кристаллизации и генезис андезитов. М.: Наука, 1986. 158 с.
- Кирсанов И.Т.* Экструзивные извержения на вулкане Безымянном в 1965–1974 гг. и их геологический эффект // Проблемы глубинного магматизма. М.: Наука, 1979. С. 50–69.
- Козырев А.И.* Результаты измерения плотности лав Ключевского вулкана // Вулканология и сейсмология. 1990. № 1. С. 65–75.
- Козырев А.И., Фарберов А.И., Ванде-Кирков Ю.В.* Физические свойства эффузивных и субвулканических пород Авачинского и Корякского вулканов // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 54–72.
- Ладыгин В.М., Гирина О.А., Фролова Ю.В., Кондрашов И.А.* Лавовые потоки вулкана Безымянный, Камчатка // Материалы 4-го международного совещания по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг (JKASP). Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. С. 62–63.
- Ладыгин В.М., Никитин В.Н.* О некоторых особенностях свойств молодых эффузивов Камчатки // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 1980. № 5. С. 81–86.
- Ладыгин В.М., Округин В.М.* Петрофизические свойства базальтов Большого трещинного Толбачинского извержения // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 1998. № 3. С. 45–49.
- Ладыгин В.М., Фролова Ю.В.* Использование петрофизических исследований при решении вулканологических задач // III Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2006 Т. 1. С. 42–46
- Ладыгин В.М., Фролова Ю.В.* Особенности петрофизических свойств эффузивов Ключевского вулкана // Вулканология и сейсмология. 2002. № 3. С. 28–32.
- Максимов А.П., Фирстов П.П., Гирина О.А., Малышев А.И.* Извержение вулкана Безымянный в июне 1986 г. // Вулканология и сейсмология. 1991. № 1. С. 3–20.
- Малышев А.И.* Жизнь вулкана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 260 с.
- Озеров А.Ю., Арискин А.А., Кайл Ф. и др.* Петролого-геохимическая модель генетического родства базальтового и андезитового магматизма вулканов Ключевской и Безымянный, Камчатка // Петрология. 1997. Т. 5. № 6. С. 614–635.
- Толстых М.Л., Наумов В.Б., Богоявленская Г.Е., Кононова Н.Н.* Андезит-дацит-риолитовые расплавы при кристаллизации вкрапленников андезитов вулкана Безымянный, Камчатка // Геохимия. 1999. № 1. С. 14–24.
- Almeev R.R., Kimura J.-I., Ozerov A.A. et al.* Geochemistry of Bezmyanny volcano lavas: signatures of a mantle precursor and magma fractionation // Geophysical Research Abstracts. 2004. V. 6. 04913.

**Petrophysical Features of Lava Flows from Bezmyannyi Volcano, Kamchatka****V. M. Ladygin<sup>a</sup>, O. A. Girina<sup>b</sup>, and Yu. V. Frolova<sup>a</sup>**<sup>a</sup> *Faculty of Geology, Moscow State University, 119992 Russia  
e-mail: skalka\_1@mail.ru*<sup>b</sup> *Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
bul'var Piipa 9, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006 Russia*

**Abstract**—This paper presents results from a study of lava flows that were discharged by Bezmyannyi Volcano at different times, from old (about 3500 years ago) to recent ones (1985–1989). We provide detailed descriptions of the composition, structure, and petrophysical properties for the main types of constituent rocks, which are andesites and basaltic andesites. It was found that porosity is the leading factor that controls rock properties, while the effects of structural and mineralogical features are less prominent. We demonstrate the variation in the properties of rocks that compose the lava flows in relation to their ages: the older a rock is, the higher its density and strength and the lower its porosity is.