



DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-2-184-192
УДК 622.01

Научная статья

Сравнительная характеристика физико-механических свойств андезито-базальтов вулканов Зими́на и Камень

В.В. Беленикин, А.С. Пулькова

Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

История статьи:

Поступила в редакцию: 24 февраля 2019

Доработана: 20 апреля 2019

Принята к публикации: 15 мая 2019

Ключевые слова:

физико-механические свойства горных пород; скальные грунты; эффузивы вулканов

Физико-механические свойства горных пород определяют поведение горных пород под воздействием внешних усилий (нагрузки) и проявляются в сопротивлении разрушению и деформации. Свойство горных пород сопротивляться разрушению и образованию больших остаточных деформаций под воздействием нагрузки или, точнее, воспринимать, не разрушаясь в определенных пределах и условиях, те или иные нагрузки называется прочностью, а их свойство изменять под нагрузкой форму сложения и объем – деформацией. Эти свойства выражают и оценивают прочностными и деформационными показателями. В статье проведено сравнение физико-механических свойств и строения эффузивов вулканов Зими́на и Камень, которые находятся на полуострове Камчатка. Физико-механические свойства эффузивных пород этих вулканов достаточно хорошо изучены, что позволяет составить их детальную характеристику, а также сравнить породы между собой, выделив сходства и различия. Осуществив анализ полученных данных, появляется возможность использовать эту информацию при схожих исследованиях, отождествляя результаты либо при наличии различий объясняя их. Проведенные исследования позволяют более точно объяснить влияние структурных особенностей на изменения физико-механических свойств пород вулканов Камень и Зими́на.

Введение

В грунтоведении существует утверждение, согласно которому физико-механические свойства скальных грунтов зависят от генезиса, минерального состава и структурно-текстурных особенностей. Целями данной работы являются проведение опытов по определению физико-механических свойств и их последующее сравнение, а также изучение петрографических особенностей эффузивных пород двух вулканов – Зими́на и Камень. Данные вулканы относят к группе Ключевских вулканов.

Для выполнения поставленных целей необходимо изучить:

- имеющиеся литературные данные, современное представление о физико-механических свойствах эффузивных пород, влияние структурных особенностей на изменения физико-механических свойств эффузивных пород;
- структурные особенности эффузивных пород вулканов Камень и Зими́на;
- физико-механические свойства эффузивных пород вулканов Камень и Зими́на;
- влияние структурных особенностей на изменения физико-механических свойств эффузивных пород вулканов Камень и Зими́на;
- сходства и различия эффузивных пород, основываясь на анализе полученных на предыдущих этапах данных.

Беленикин Владимир Васильевич – магистрант Инженерной академии; didifmfc@gmail.com

Пулькова Алина Сергеевна – магистрант Инженерной академии.

© Беленикин В.В., Пулькова А.С., 2019

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Физико-географический очерк района

Вулкан Камень расположен в самом центре Ключевской группы вулканов. Это типичный стратовулкан с конусом правильной формы, потухший, относится к одним из самых древних. Сложен переслаивающимися лавами андезито-базальтового

состава с вкраплениями пироксена и плагиоклаза, реже – роговообманковым андезитом и пирокластикой того же состава. Основанием вулкана служат древние мегаплагиофировые лавы Ключевской группы и породы щитового вулкана Ушковский.

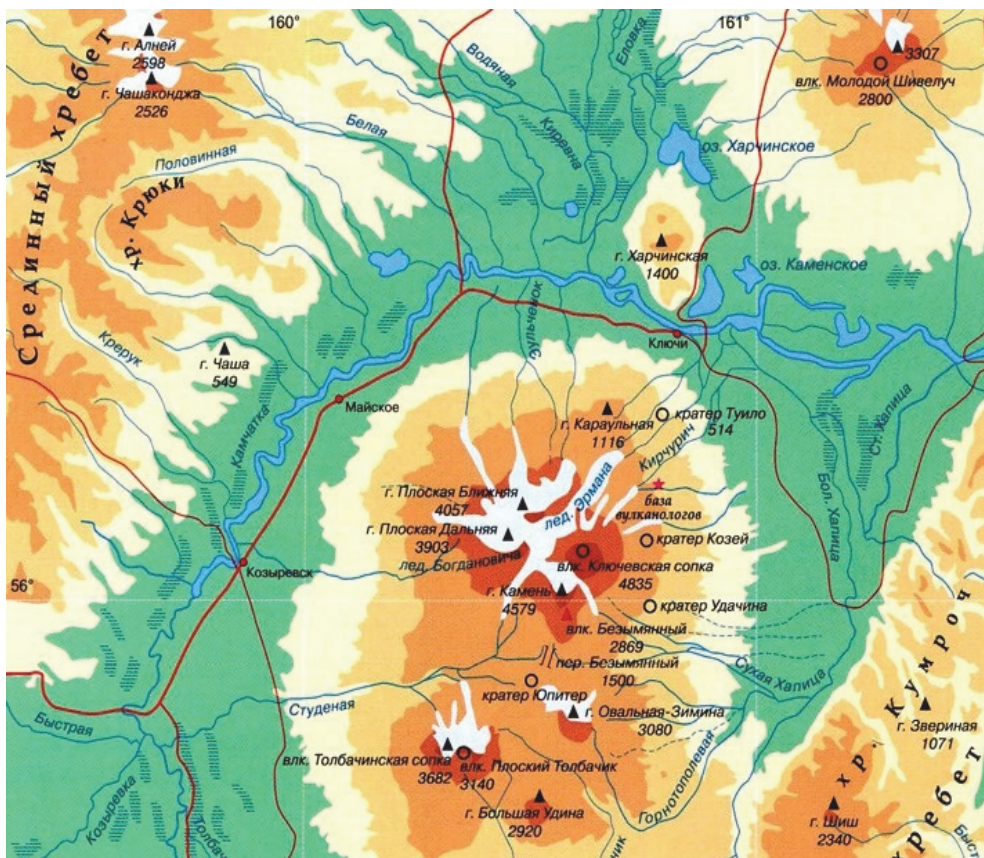


Рисунок. Ключевская группа вулканов на физической карте Камчатки
(Figure. Klyuchevskaya group of volcanoes on the physical map of Kamchatka)

Источник: Планета Земля: историческая география. URL: <http://geosfera.org>

Расположенный рядом с Ключевским вулкан Камень – второй по высоте вулкан на Камчатке. Склоны его крутые. Юго-восточный склон представлен глубоким цирком, образовавшимся в результате обвала, произошедшего 1000–1200 лет назад. Крутизна склонов здесь достигает 45–70°, поверхность представлена вулканическим шлаком. Северные и западные склоны начинаются с перевалов между вулканами Ушковский и Ключевской. Они также достаточно круты (35–40°) и почти полностью перекрыты льдом и фирном. Вершина вулкана труднодоступна [12].

Когда-то он был коническим стройным вулканом, но из-за произошедших колоссальных взры-

вов его восточная часть была оторвана и разбросана по окрестностям. Размеры крупных осколков-глыб составляют в поперечнике 5–10 м, но встречаются и более крупные. Так, в районе среднего течения Сухой Хапицы лежит глыба Амбон, отброшенная взрывом от своего «родного» места на 10 км. Ее поперечник составляет около 50 м, объем – около 16 000 м³. По размерам она больше пятиэтажного дома, а ее вес – 40–45 тыс. т. Глыба Амбон является памятником природы геологического характера.

Западный склон вулкана, не поврежденный взрывами, имеет обычный для конусовидных вулканов уклон – 30–35°. Восточный склон обрыва-

ется тремя крутыми цирками-уступами с уклоном 70–75°.

Группа Зиминых сопок относится к потухшим вулканам, располагается к юго-востоку от вулкана Безымянный и состоит из трех слившихся в единый массив стратовулканов: Овальная Зиминая, Острая Зиминая и Горный Зуб. Массив вытянут в субширотном направлении.

Вулкан Горный Зуб является самым древним и разрушенным, он расположен в восточной части массива, между ключом Тундровым и рекой Горно-Тополовой (Горно-Тополевой). Основанием вулкана служат мегаплагиофировые лавы. В его строении присутствуют пирокластические образования с прослоями лав базальта и андезитобазальта, которые выше сменяются оливин-пироксеновыми базальтами. Самую верхнюю часть составляют андезито-базальты и андезиты экструзий, причем место их внедрения смещается в западном направлении, в сторону вулканов Острая Зиминая и Овальная Зиминая.

Острая Зиминая в рельефе сравнительно четко выражена. Сложена плагиобазальтами и андезитами. Кратер ее заполнен экструзией андезито-дацитов. Экструзия такого же состава отмечена в южном отроге этого вулкана [1].

Овальная Зиминая ограничивает вулканический массив с запада. Сложен вулкан пирокластикой, переслаивающейся с лавами дацитов. Кратер заполнен экструзией дацитового состава, обелиск которой хорошо выражен в рельефе. Одновременно с кратерной экструзией два купола дацитов образовались на ее южном склоне. По-видимому, с внедрением этих экструзий и довольно мощных эксплозий связано понижение, которое занял ледник Желтый, хотя В.А. Ермаков считает, что он приурочен к древнему кратеру вулканического массива Зиминых сопок. С этим же процессом он связывает мощную алунификацию пород, широко развитую на восточных и западных склонах сопки Овальная Зиминая и Острая Зиминая. Здесь В.А. Ермаковым обнаружен термальный источник с температурой 16–19 °С. Последний указывает на то, что гидротермальная деятельность на этих вулканах продолжается.

2. Современные представления о влиянии петрографических особенностей эффузивов на их физико-механические свойства

Установлено, что эффузивы четвертичного возраста характеризуются преимущественно пористой

и крупнопористой текстурой ($n-2 - 30\%$), свежестью неизмененных первичных минералов, слагающих породу. Главной их особенностью является наличие открытых, незаполненных вторичными минералами пор, образовавшихся при остывании магматического расплава. Их свойства зависят в большей степени от их текстуры – величины пористости и соотношения пор по размерам, чем от минералогического состава и структуры породы [2].

Установлено, что плотность эффузивов повышается с увеличением основности пород в ряду андезиты – базальты. Наблюдается тенденция четкого увеличения скоростей упругих волн от андезитов к базальтам. Изменение прочности может быть связано как с более высокой пористостью, так и с влиянием размера и характера распределения пор.

Проанализировано влияние размера пор на свойства. По мере увеличения размера пор от 1 до 5 мм установлено устойчивое снижение прочности от 120 до 50 МПа [3]. При пористости менее 8–12 % резко возрастает влияние структуры основной массы породы. Наблюдается закономерное снижение прочности по мере увеличения содержания вулканического стекла в микролитовых, офиловых, интерсертальных, гиалопилитовых структурах [4].

Настоящая работа предполагает обнаружить дополнительный материал по влиянию различных геологических факторов на свойства эффузивов.

В.М. Ладыгиным выявлено влияние текстуры (пористости) на свойства базальтов. В зависимости от размера пор выделены мелкопористые (0,1–1 мм), среднепористые (1–5 мм) и крупнопористые (> 5 мм) текстуры. По мере увеличения размера пор наблюдается снижение плотности (от 2,46 до 2,05 г/см³) и прочности (от 122 до 48 МПа), величина пористости возрастает от 13,9 до 28,3 %. На значение показателя V_p размер пор существенного влияния не оказывает [5].

Также установлено устойчивое изменение значений свойств по мере увеличения степени кристалличности породы. Так, плотность повышается от 1,58 до 2,65 г/см³, прочность – от 41 до 163 МПа, то есть в 4 раза, заметно увеличивается плотность твердой фазы (от 2,85 до 2,91 г/см³) и уменьшается пористость (от 45 до 9,5 %). Наибольшая величина пористости характерна для разностей с витрофировой структурой, то есть для пород верхних частей потоков. Следует отметить рез-

кое (с $6,4\text{--}7,2 \times 10^{-3}$ до $1,8 \times 10^{-3}$ СИ) снижение величины магнитной восприимчивости у разностей с витрофировой структурой, что может свидетельствовать о заметной дифференциации магнитной составляющей в потоках базальтов. Вместе с тем значение показателя V_p не зависит от структуры основной массы, оставаясь постоянным [6].

Базальты вулкана Ключевской очень разнообразны по петрофизическим свойствам, которые контролируются различными факторами. Плотность и прочность зависят от величины пористости, размера пор, типа структуры основной массы базальтов. Происходит увеличение плотностных (прочностных) характеристик с повышением пористости, от крупнопористых базальтов к мелкопористым и массивным разностям, от базальтов с гиалопилитовой основной массой к базальтам с офитовой структурой. Значения показателя V_p определяются наличием микротрещиноватости (за исключением базальтов с витрофировой структурой) и являются крайне низкими при данных значениях плотности и пористости. Плотность минеральных частиц коррелирует с химическим составом: снижается с увеличением содержания SiO_2 и уменьшением содержания Mg и CaO [7].

Существует корреляционная связь между плотностью твердой компоненты ρ_s (минеральной плотностью или плотностью твердой фазы) и содержанием SiO_2 . Первая работа по установлению взаимосвязи между содержанием SiO_2 и ρ_s была проведена О.М. Алыповой в 1967 г. [8].

Более детальные исследования отражены в работе В.М. Ладыгина, С.Н. Рычагова, Ю.В. Васильевой и Н.А. Румянцевой [9]. Был выявлен характер взаимосвязи SiO_2 и ρ_s : он зависит от состояния минеральной составляющей породы (соотношение кристаллической и стеклянкой фаз) и структуры основной массы. В общем случае получены следующие значения минеральной плотности для различных петрографических типов эффузивных пород: ультрабазиты характеризуются величиной ρ_s более $2,95\text{--}3,06$ г/см³; значения ρ_s базальтов лежат в интервале от $2,81\text{--}2,87$ до $2,95\text{--}3,09$ г/см³, андезито-базальтов – от $2,73\text{--}2,77$ до $2,81\text{--}2,87$ г/см³, андезитов – от $2,59\text{--}2,6$ до $2,73\text{--}2,77$ г/см³ [10].

Рассмотренные выше зависимости характеризуют вулканы неоген-четвертичного возраста, существенно не затронутые вторичными изменениями.

В работе [11] описаны зависимости скорости продольных волн от возраста породы. В данной работе говорится, что у эффузивов при кристаллизации образуются микротрещины, которые вызывают резкое снижение величины упругих волн. Этот эффект исчезает с увеличением возраста эффузивов, и базальты возраста более 150 000–200 000 лет обладают большими скоростями.

3. Сравнительная характеристика эффузивных пород вулканов Зимины и Камень

Вулканы Зимины и Камень относятся к группе Ключевских вулканов и располагаются в непосредственной близости друг от друга, но в результате различного происхождения имеют разный химический состав и физико-механические свойства пород, образующих данные вулканы.

По результатам, полученным в процессе исследования данных эффузивов, можно сделать вывод, что вулканы состоят из базальтов и андезито-базальтов, однако у эффузивов вулкана Камень более кислый состав – андезито-базальтов больше, чем базальтов, соотношение 7:3. У вулкана Зимины соотношение андезито-базальтов к базальтам 6:9.

Стоит отметить, что был обнаружен образец с гидротермальными преобразованиями (zim16–18), также в ходе маршрутов был обнаружен ледник Желтый, характерный цвет которого косвенно указывает на гидротермальную активность вулкана Зимины. При изучении образцов с вулкана Камень подобных изменений не наблюдалось. Отсюда можно сделать вывод, что и по пористости пород данные вулканы отличаются. Средние показатели пористости пород с вулкана Зимины составляют: для первой группы пород – 17,4 %, для второй – 11,8 %, для третьей – 6,0 %, для четвертой – 12,0 % и для пятой – 12,6 %. Для вулкана Камень характерны следующие величины: для первой группы пород – 4,2 %, для второй – 8,8 %, для третьей – 6,2 %, для четвертой – 10 %. Это свидетельствует о том, что при извержении вулкана Зимины было большее флюидовыделение.

Сравнение скоростей продольных волн выявило, что у образцов с вулкана Камень средние показатели скоростей ниже, чем у образцов с вулкана Зимины. Один из образцов, а именно кам09–07, имеет скорость 4,9 км/с, такое высокое значение связано с низкой пористостью данного образца. А высокие скорости у образцов zim16–14 и zim16–11 связаны с более древним возрастом этого потока.

Предположительно, у вулкана Зимины есть лавовые потоки возраста Q₄, но есть и более древние – возраста Q₂₋₃ [12]. У вулкана Камень отсутствуют об-

разцы с резко отличающимися, высокими скоростями – это признак того, что все изученные потоки возраста Q₄ (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Физические и физико-механические свойства эффузивных пород вулкана Зимины
[Table 1. Physical and physico-mechanical properties of effusive rocks of the Zimin volcano]

Группы [Groups]	Вулкан Зимины [Zimin volcano]	Плотность воздушно-сухого грунта [Density of air-dry soil]	Плотность твердой компоненты [Density of solid components]	Пористость [Porosity]	Скорость продольных волн по оси зерна [The speed of longitudinal waves along the core axis]	Прочность на одноосное сжатие в воздушно-сухом состоянии [Uniaxial compression strength in air-dry condition]	Структура основной массы породы [The structure of the main mass of the breed]	Количество образцов [Amount of samples]	
									№ пробы [Sample number]
Базальты [Basalts]	I	zim16-09	2,70	3,08	12,8	4,1	140	Интерсертальная [Intersertal]	2
		zim16-03	2,37	3,02	21,9	4,1	69	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	4
		Среднее [Average]	2,54	3,05	17,4	4,1	105	–	–
	II	zim16-10	2,65	2,94	8,4	3,8	45	Микрофитовая [Microophyte]	3
		zim16-42	2,67	2,95	8,8	3,6	175	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	4
		zim16-30	2,60	2,94	18,2	3,3	133	Интерсертальная [Intersertal]	3
		Среднее [Average]	2,64	2,94	11,8	3,6	118	–	–
	III	zim16-14	2,76	2,93	5,4	5,5	316	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	3
		zim16-11	2,71	2,90	6,5	5,4	169	Интерсертальная [Intersertal]	3
Среднее [Average]		2,74	2,92	6,0	5,5	243	–	–	
Андезито-Базальты [Andesite-basalts]	IV	zim16-34	2,51	2,86	11,8	2,5	164	Интерсертальная [Intersertal]	2
		zim16-26	2,73	2,88	4,4	3,2	49	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	1
		zim16-28	2,20	2,84	21,9	3,1	67	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	3
		Среднее [Average]	2,48	2,86	12,7	2,9	93	–	–
	V	zim16-04	2,30	2,80	17,9	2,9	92	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	3
		zim16-23	2,30	2,77	16,8	2,5	23	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	3
		zim16-45	2,45	2,75	10,3	4,2	120	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	4
		zim16-46	2,57	2,73	5,5	2,2	239	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	3
		Среднее [Average]	2,41	2,76	12,6	3,0	119	–	–
	VI	zim16-18	2,35	2,99	14,5	4,1	72	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	3

Примечание: zim16-03: zim – вулкан Зимины, 16 – номер экспедиции, 03 – номер пробы.
 [Note: zim16-03: zim – Zimin volcano, 16 – expedition number, 03 – sample number.]

Физические и физико-механические свойства эффузивных пород вулкана Камень
 [Table 2. Physical and physico-mechanical properties of effusive rocks of the Kamen volcano]

	Группы [Groups]	Вулкан Камень [Kamen volcano]	Плотность воздушно- сухого грунта [Density of air-dry soil]	Плотность твёрдой компо- ненты [Density of solid compo- nents]	Пори- стость [Porosi- ty]	Скорость продоль- ных волн по оси керна [The speed of longitu- dinal waves along the core axis]	Прочность на одноосное сжатие в воз- душно-сухом состоянии [Uniaxial com- pression strength in air- dry condition]	Структура основной массы породы [The structure of the main mass of the breed]	Количе- ство образцов [Amount of samples]
Базальты [Basalts]	I	кам09–14	2,73	3,08	4,2	2,2	113	Офитовая [Oophyte]	2
		Среднее [Average]	2,73	3,08	4,2	2,2	113	–	–
	II	кам09–20	2,73	2,94	8,4	2,9	140	Интерсерральная [Intersertal]	6
		кам09–26	2,67	2,94	9,1	3,3	103	Интерсерральная [Intersertal]	4
		Среднее [Average]	2,70	2,94	8,8	3,1	122	–	–
Андезит-базальты [Andesite-basalts]	III	кам09–13	2,72	2,88	6,0	2,1	130	Интерсерральная [Intersertal]	5
		кам09–22	2,69	2,88	6,2	2,4	76	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	3
		кам09–25	2,58	2,86	9,0	3,0	99	Интерсерральная [Intersertal]	3
		кам09–07	2,76	2,85	3,5	4,9	154	Интерсерральная [Intersertal]	2
		Среднее [Average]	2,69	2,87	6,2	3,1	115	–	–
	IV	кам09–23	2,39	2,83	15,7	2,8	68	Интерсерральная [Intersertal]	5
		кам09–08	2,59	2,82	8,3	2,6	112	Офитовая [Oophyte]	7
		кам09–24	2,65	2,82	5,9	3,2	44	Гиалопилитовая [Hyalopilitic]	3
		Среднее [Average]	2,54	2,82	10,0	2,9	75	–	–

Примечание: кам09–14: кам – вулкан Камень, 16 – номер экспедиции, 03 – номер пробы.

[Note: kam09–14: kam – Kamen volcano, 16 – the number of the expedition, 03 – sample number.]

При изучении прочностных характеристик отобранных образцов особых закономерностей и зависимостей обнаружено не было. Установлено, что прочность не зависит от структуры основной массы. Изучение шлифов отобранных образцов пород под микроскопом показало, что у вулкана Камень больше пород с интерсерральной структурой, в то время как для вулкана Зимины характерны породы с гиалопилитовой основной массой. У вулкана Зимины андезит-базальты имеют преимущественно гиалопилитовую структуру, за исключением образца zim16–34, который имеет ин-

терсерральную структуру. Базальты имеют гиалопилитовую структуру. Исключение составляют лишь эффузивы zim16–11 и zim16–09, у которых интерсерральная структура, и zim16–10 с микроофитовой структурой. У вулкана Камень наблюдается обратная зависимость: андезит-базальтовые породы имеют интерсерральную структуру основной массы, за исключением кам09–22 и кам09–24 с гиалопилитовой структурой основной массы и кам09–08 с офитовой структурой основной массы. Стоит отметить, что базальты вулкана Камень также представлены интерсерральной

структурой основной массы, исключение – образец кам09–14, имеющий офитовую структуру.

Исходя из полученных в результате исследований показателей, можно сделать следующий вывод: эффузивы вулкана Камень преимущественно представлены породами с интерсертальной структурой основной массы, а образцы с вулкана Зими́на – гиалопилитовой структурой основной массы.

Основываясь на полученных графиках зависимостей скоростей продольных волн от плотности пород и зависимостей прочности пород от плотности, можно заключить, что:

- 1) породы вулкана Камень плотнее;
- 2) разброс полученных значений физико-механических свойств для вулкана Камень минимальный, что свидетельствует о более постоянном составе, а следовательно, и более четко выраженной зависимости прочности и скорости продольных волн от плотности. Значения показателей физико-механических свойств эффузивных пород вулкана Зими́на имеют большой разброс, и следовательно, менее четко выраженную зависимость прочности и скорости продольных волн от плотности;

3) показатели прочности не зависят от структуры основной массы как на вулкане Камень, так и на вулкане Зими́на.

Графики зависимостей скоростей продольных волн от пористости пород и зависимостей прочности пород от ее пористости свидетельствуют о наличии:

- 1) зависимости скорости от пористости у эффузивов с интерсертальной структурой;
- 2) зависимости прочности от пористости у эффузивов, отобранных с вулкана Зими́на, имеющих гиалопилитовую структуру.

Заключение

В ходе исследования были изучены физико-механические свойства эффузивов, отобранных с расположенных рядом вулканов Зими́на и Камень. Проведено сравнение физико-механических свойств и строения эффузивов данных вулканов, для чего были изучены 25 образцов: 15 – с вулкана Зими́на и 10 – с вулкана Камень. На основе полученных данных установлено, что:

- 1) вулкан Камень преимущественно сложен андезито-базальтами, а вулкан Зими́на базальтами;
- 2) эффузивы с вулкана Зими́на преимущественно имеют гиалопилитовую структуру основной мас-

сы, а эффузивы вулкана Камень – интерсертальную структуру основной массы;

- 3) эффузивы вулкана Зими́на более пористые, чем эффузивы вулкана Камень;
- 4) средние скорости продольных волн у эффузивов вулкана Зими́на выше, чем у эффузивов вулкана Камень;
- 5) на вулкане Зими́на обнаружены гидротермальные явления;
- 6) у вулкана Зими́на присутствуют потоки, предположительно, возраста Q_{2-3} , на что косвенно указывают высокие скорости продольных волн у эффузивных пород вулкана; у вулкана Камень возраст потоков соответствует Q_4 ;
- 7) прочность пород не зависит от структуры основной массы;
- 8) зависимость скорости продольных волн от пористости наблюдается у эффузивов с интерсертальной структурой;
- 9) зависимость прочности от пористости наблюдается у эффузивов, отобранных с вулкана Зими́на и имеющих гиалопилитовую структуру.

Список литературы

1. Фролова Ю.В., Чернов М.С. Формирование глинистых минералов в вулканогенных породах при гидротермальном литогенезе // Глины-2015: тезисы и материалы Третьего Всероссийского совещания. М., 2015. С. 70–72.
2. Ладыгин В.М., Округин В.М. Петрофизические свойства базальтов Большого трещинного Толбачинского извержения // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 1998. № 3. С. 45–49.
3. Reid M., Sisson Th., Brien D. Volcano collapse promoted by hydrothermal alteration and edifice shape, Mount Rainier, Washington // *Geology*. 2011. Vol. 29. No. 9. Pp. 779–782.
4. Ладыгин В.М., Фролова Ю.В. Особенности петрофизических свойств эффузивов Ключевского вулкана // Вестник МГУ. 2012. № 6. С. 44–48
5. Kiryukhin A.V., Rychkova T.V., Droznin V.A., Chernykh E.V., Puzankov M.Y., Vergasova L.P. Geysers Valley Hydrothermal System (Kamchatka): Recent Changes Related to Landslide of June 3, 2007 // *Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010*. URL: https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGA_standard/WGC/2010/1515.pdf
6. Zerkal O.V., Gvozdeva I.P. Slope stability analysis in modern hydrothermal active areas // *Global View of Engineering Geology and Environment: Proc. of the Internet. Symp. and 9th Asian Regional Conf. of IAEG (Beijing, 23–25 September 2013)*. London: CRC Press (Taylor & Francis Group), 2013. Pp. 225–228.

7. Montanaro C., Scheu B., Gudmundsson M., Vogt-fjord K., Reynolds H., Durig T., Strehlow K., Rott S., Reuschle Th., Dingwell D. Multidisciplinary constraints of hydrothermal explosions based on the 2013 Gengissig lake event, Kverkfjoll volcano, Iceland // *Earth and Planetary Science Letters*. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2015.11.043/>

8. Семенов В.И. В краю горячих источников. Петропавловск-Камчатский: Дальиздат, Камчатское отделение, 1988. 143 с.

9. Ладыгин В.М., Макаров А.А., Фролова Ю.В. Использование показателя плотности твердой фазы для классификации эффузивов // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2002. № 1. С. 57–60.

10. Фролова Ю.В., Ладыгин В.М., Рычагов С.Н. Закономерности преобразования состава и свойств вулканогенных пород в гидротермально-магматических

системах Курило-Камчатской островной дуги // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. 2011. № 6. С. 52–60.

11. Алыпина О.М. Некоторые данные о физических свойствах вулканических пород района Ключевской группы вулканов // *Бюллетень вулканологических станций*. № 43. М.: Наука, 1967. С. 56–63

12. Кириллов В.И. Камчатка: справочник туриста. Петропавловск-Камчатский: РИО КОТ, 1994. 228 с.

Для цитирования

Беленикин В.В., Пулькиова А.С. Сравнительная характеристика физико-механических свойств андезитобазальтов вулканов Зимины и Камень // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2019. Т. 20. № 2. С. 184–192. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-2-184-192>

Research paper

Comparative characteristics of the physical and mechanical properties of andesite-basalts of Zimin and Kamen volcanoes

Vladimir V. Belenikin, Alina S. Pulkova

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Article history:

Received: February 24, 2019

Revised: April 20, 2019

Accepted: May 15, 2019

Keywords:

physical and mechanical properties of rocks; rocky soils; volcanic effusive

The physical and mechanical properties of rocks are called those that determine their behavior under the influence of external forces (loads) and manifest themselves in resistance to destruction and deformation. The property of rocks to resist destruction and the formation of large residual deformations under the influence of the load or, more precisely, to perceive, without breaking down within certain limits and conditions, certain loads are called strength, and their property to change under load the shape of folding and volume is deformation. These properties express and evaluate the strength and deformation indicators. The article compares the physical and mechanical properties and structure of the effusive volcanoes of Zimin and Kamen, which are located on the Kamchatka Peninsula. The physical and mechanical properties of the effusive rocks of these volcanoes are rather well studied, which allows to make their detailed characterization, as well as to compare the rocks with each other, highlighting the similarities and differences. By analyzing the data obtained, it is possible to use this information in similar studies, identifying the results or explaining them if there are differences. The conducted studies allow to more accurately explain the influence of structural features on changes in the physical and mechanical properties of the rocks of the Kamen and Zimin volcanoes.

References

1. Frolova YuV, Chernov MS. The formation of clay minerals in volcanogenic rocks during hydrothermal lithogenesis. *Clays-2015: Materials and Abstracts of Third All-Russian Meeting*. Moscow; 2015. pp. 70–72. (In Russ.)

2. Ladygin VM, Okrugin VM. Petrophysical properties of basalts of the Great Cracked Tolbachinsky Eruption (Kamchatka). *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 1998;(3): 45–49. (In Russ.)

3. Reid M, Sisson Th, Brien D. Volcano collapse promoted by hydrothermal alteration and edifice shape, Mount Rainier, Washington. *Geology*. 2011;29(9): 779–782.

4. Ladygin VM, Frolova YuV. Peculiarities of petro-physical properties of effusive waters of the Klyuchevsky

Vladimir V. Belenikin – master student of the Academy of Engineering; didiftmfc@gmail.com

Alina S. Pulkova – master student of the Academy of Engineering.

Volcano. *Moscow State University Bulletin*. 2012;(6): 44–48. (In Russ.)

5. Kiryukhin AV, Rychkova TV, Droznin VA, Chernykh EV, Puzankov MY, Vergasova LP. Geysers Valley Hydrothermal System (Kamchatka): Recent Changes Related to Landslide of June 3, 2007. *Proceedings of World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010*. Available from: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/1515.pdf>

6. Zerkal OV, Gvozdeva IP. Slope stability analysis in modern hydrothermal active areas. *Global View of Engineering Geology and Environment: Proc. of the Internet. Symp. and 9th Asian Regional Conf. of the IAEG (Beijing, 23–25 September 2013)*. London: CRC Press (Taylor & Francis Group); 2013. pp. 225–228.

7. Montanaro C, Scheu B, Gudmundsson M, Vogfjord K, Reynolds H, Durig T, Strehlow K, Rott S, Reuschle Th, Dingwell D. Multidisciplinary constraints of hydrothermal explosions based on the 2013 Gengissig lake event, Kverkfjoll volcano, Iceland. *Earth and Planetary Science Letters*. 2015. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2015.11.043/>.

8. Semenov VI. *At the edge of hot springs*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Dalizdat, Kamchatka branch; 1988. (In Russ.)

9. Ladygin VM, Makarov AA, Frolova YuV. Using the density indicator of the solid phase for the classification of effusive. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2002;(1): 57–60. (In Russ.)

10. Frolova YuV, Ladygin VM, Rychagov SN. Patterns of conversion composition and properties of volcanogenic rocks in hydrothermal-magmatic systems of the Kuril-Kamchatka island arc. *Moscow State University Bulletin. Series 4: Geology*. 2011;(6): 52–60. (In Russ.)

11. Alypova OM. Some data on the physical properties of their volcanic rocks in the area of the Klyuchevskaya volcano group. *Bulletin of volcanological stations*. 1967;(43): 56–63. (In Russ.)

12. Kirillov VI. (director of the publication). *Kamchatka: tourist guide*. Petropavlovsk-Kamchatsky: RIO KOT Publ.; 1994. (In Russ.)

For citation

Belenikin VV, Pulkova AS. Comparative characteristics of the physical and mechanical properties of andesite-basalts of Zimin and Kamen volcanoes. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2019;20(2): 184–192. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-2-184-192>. (In Russ.)