

Изменения андезитов в зоне кислотного выщелачивания Южно-Камбального Дальнего термального поля (Камчатка)**Ю.В. Фролова¹, К.И. Суворцева¹, М.С. Чернов¹, С.Н. Рычагов²**¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, Москва, 119991, e-mail: frolova@mail.ru;² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006.

Рассматриваются изменения андезитов в приповерхностной зоне Южно-Камбального Дальнего термального поля под действием кислотного выщелачивания. Выделены последовательные стадии преобразования пород. Анализируется изменение их минерального состава, микростроения, пористости и физико-механических свойств в зависимости от степени гидротермальной переработки.

Камбальный вулканический хребет представляет собой резургентное тектономагматическое поднятие в Паужетской вулканотектонической депрессии четвертичного возраста [2]. Это одна из крупнейших геотермальных структур Южной Камчатки [4]. Вдоль осевой части хребта, вытянутого субмеридионально на 18–20 км, располагаются три группы термальных полей (т/п): Северо-, Центрально- и Южно-Камбальное [1]. В состав Южно-Камбальной группы входит Южно-Камбальное Дальнее т/п (ЮКД), самое большое по размерам и наиболее приближенное к действующему вулкану Камбальный. В этой части хребта выделяется сложный стратовулкан среднеплейстоценового [2], или – позднеплейстоценового [5] возраста. Состав входящих в структуру стратовулкана отдельных сильно разрушенных построек, а также экструзий и субвулканических тел варьирует от андезибальтового до андезидацитового. Породы, слагающие район ЮКД, наиболее близки к низкощелочным умереннокалиевым андезитам [3].

ЮКД расположено в U-образной долине крупного ручья – истока р. Этамынк. Вытянуто в направлении ЮЗ – СВ на 1,2 км. Термопроявления представлены парящими грунтами, грязеводными котлами, парогазовыми струями. Температура воды в кипящих котлах и на устьях струй достигает 103–104°C, грунтов вблизи дневной поверхности – 107°C. В составе термальных вод преобладают слабокислые и кислые сульфатные растворы, в составе газа – углекислый газ и сероводород. Поверхность т/п сложена гидротермальными глинами и опалитами зоны сернокислотного выщелачивания и в различной степени измененным делювием пород. С целью продолжения исследования механизмов гидротермально-метасоматического изменения горных пород в зоне разгрузки парогидротерм нами отобран ряд образцов пород по профилю вкрест простираения т/п, от относительно свежих андезитов – к полностью переработанным.

Исходные андезиты представляют собой породы темно-серого цвета, плотного массивного сложения с порфировой структурой. Порфиновые вкрапленники представлены плагиоклазами (размер кристаллов 0,3–0,5 мм, до 1 мм; содержание 10–15%), в меньшей степени - пироксенами (0,5–1 мм, до 2 мм). Структура основной массы - интерсертально-гиалопилитовая. Среди микролитов преобладают плагиоклазы, в меньших количествах встречаются пироксены. В составе андезитов присутствуют рудные минералы, в количестве 1–2%. Неизменные андезиты плотные ($\rho=2,72 \text{ г/см}^3$), низкопористые ($n=7\%$), с высокими значениями показателей упругих ($V_p=5,15 \text{ км/с}$, $E_u=53 \text{ ГПа}$) и прочностных ($R_c=128 \text{ МПа}$) свойств (табл.). Также данные породы отличаются высокими значениями магнитной восприимчивости ($\chi=34 \cdot 10^{-3} \text{ СИ}$), что обусловлено присутствием в их составе титаномагнетита и пироксенов.

Таблица. Средние значения показателей физических и физико-механических свойств андезитов и продуктов их гидротермального изменения

Показатели свойств	Породы					
	Андезиты			Приповерхностные вторичные кварциты (монокварциты)		Серные опалиты
	Неизмененные	Слабо измененные	Средне измененные	Плотные	Пористые	
ρ , г/см ³	2,72	2,60	2,29	2,27	1,53	1,66
ρ_s , г/см ³	2,90-2,95	2,90-2,95	2,84	2,78	2,72	2,36
n , %	7,4	14	19	18	45	30
V_p , км/с	5,15	4,1	3,4	4,7	3,5	2,1
E_y , ГПа	55	35	20	38	13	5,5
R_c , МПа	128	117	49	73	5	3
$\chi \cdot 10^{-3}$ СИ	34,9	17,4	12,5	0,02	-0,02	0,08
Кол-во образцов	4	2	2	6	4	3

Примечание: ρ - плотность, ρ_s - плотность твердых частиц, n - пористость, V_p - скорость продольных волн, E_y - модуль упругости, R_c - прочность на одноосное сжатие, χ - магнитная восприимчивость. Определения выполнены по стандартным методикам [6].

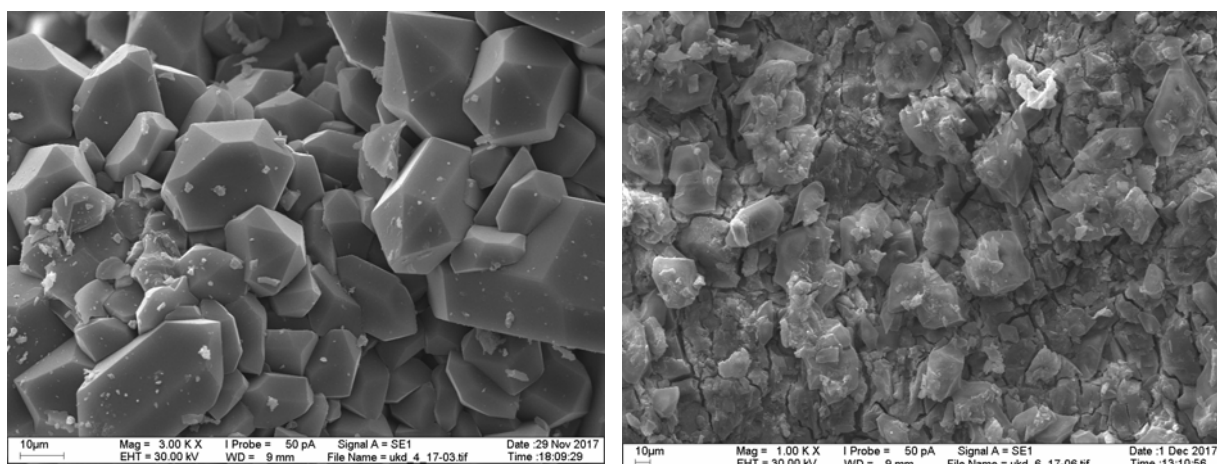
В слабо измененных андезитах наблюдается частичное замещение вулканического стекла смектитами. Вкрапленники плагиоклаза затронуты процессом выщелачивания, в результате которого в два раза увеличивается пористость пород и снижается их плотность. В свою очередь, увеличение пористости вызывает некоторое снижение прочности и сильное уменьшение упругих свойств. Магнитная восприимчивость, в результате частичного распада рудных и темноцветных минералов, снижается в два раза (см. табл.).

В образцах более измененного андезита среди вторичных минералов также преобладают смектиты, в небольших количествах появляются каолинит, анатаз, гипс. На данной стадии изменения очень ярко проявлен процесс выщелачивания, в результате которого продолжается увеличение пористости пород и снижение плотности, упругих и прочностных свойств. Также продолжается снижение магнитной восприимчивости.

Конечным продуктом выщелачивания являются вторичные кварциты (монокварциты) и серные опалиты.

Минеральный состав вторичных кварцитов достаточно однообразен: преобладает метасоматический кварц (95%), с незначительной примесью гипса и анатаза и реликтовыми остатками плагиоклазов и КПШ (около 3%). Микрокристаллический кварц (50-200 мкм) замещает исходную породу практически полностью, без сохранения остатков первичных минералов, за исключением их контуров, которые в некоторых случаях можно различить. Следует отметить, что в полостях, в условиях свободного роста, сформировались идиоморфные микрокристаллы кварца (рис. 1а), тогда как основная массы породы, где рост новообразований происходил в стесненных условиях, замещена плотным кварцевым микроагрегатом с извилистыми, ксеноморфными очертаниями зерен. Среди монокварцитов выделяются относительно плотные ($n=18\%$) и пористые ($n=45\%$) разновидности. Первые обладают высокой прочностью и упругими свойствами, т.к. сложены плотно сросшимися зернами кварца; вторые представляют собой малопрочные породы.

Вторичные кварциты обладают низкими и даже отрицательными величинами магнитной восприимчивости, и относятся к классу диамагнетиков.



а

б

Рис. 1. Продукты сернокислотного выщелачивания (СЭМ-изображения). а - монокварциты, б - серные опалиты.

Серные опалиты образуются вокруг выходов термальных вод и парогазовых струй, приуроченных к сети трещин в вулканическом массиве. В их составе преобладает сера (до 50%) и минералы аморфного кремнезема, также присутствуют каолинит, гипс, кварц, пирит, анатаз. По основной массе породы развивается коллоидная сера, в полостях и трещинах - тонкокристаллическая (рис. 1б). Наибольшие скопления серы приурочены к возвышенным участкам микрорельефа, представляющих собой старые серные бугры. Перемещение (миграция) выходов газопаровых струй и термальных вод по площади поля, вероятно, связано с экзогенными геологическими процессами - колебанием уровня грунтовых вод; "ухудшением" физико-механических свойств пород при гидротермальных преобразованиях, инициирующим оползневые процессы в пределах поля; изменением порово-трещинного пространства массива и его фильтрационных свойств (залечивание трещин, с одной стороны, выщелачивание и формирование вторичной пористости, с другой). С инженерно-геологической точки зрения, серные опалиты являются наименее прочными породами, легко разрушающимися даже при небольших нагрузках и вовлекающимися в оползневые процессы.

Выводы

1. В пределах Южно-Камбального Дальнего термального поля выделены последовательные стадии изменения исходных пород: неизменные андезиты → слабо измененные андезиты → средне измененные андезиты → монокварциты и серные опалиты (рис. 2).

2. Среди всех показателей физических свойств, наиболее тесная корреляция со степенью изменения пород обнаружена для магнитной восприимчивости. По мере распада первичных рудных минералов и пироксенов, ее значения закономерно снижаются от $34 \cdot 10^{-3}$ СИ у исходных андезитов до нуля и отрицательных значений у вторичных кварцитов (рис. 3).

3. Под действием термальных вод, в процессе изменения андезитов, происходит постепенное выщелачивание первичных минералов и формирование новых пустот, что в целом сопровождается снижением упруго-плотностных и прочностных свойств породы. Исключением являются монокварциты, в которых плотно сросшиеся между

собой зерна метасоматического кварца придают породе повышенную прочность и упругость.

4. Гидротермальные преобразования пород и сопровождающие их изменения порово-трещинного пространства, прочностных, упругих и фильтрационных свойств, способствуют динамичному развитию термального поля во времени, включая миграцию поверхностных термопроявлений, изменение микрорельефа, формирование оползневых процессов и пр.

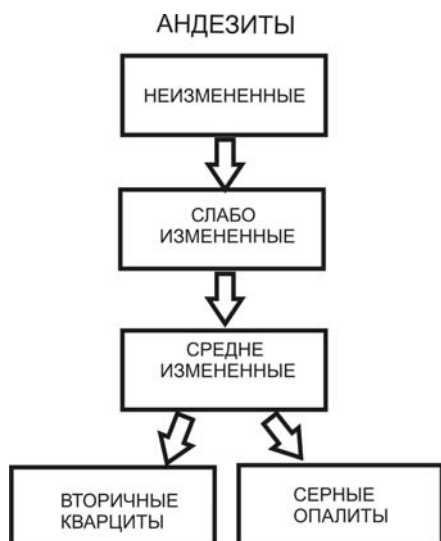


Рис. 2. Стадии изменения андезитов на ЮКД

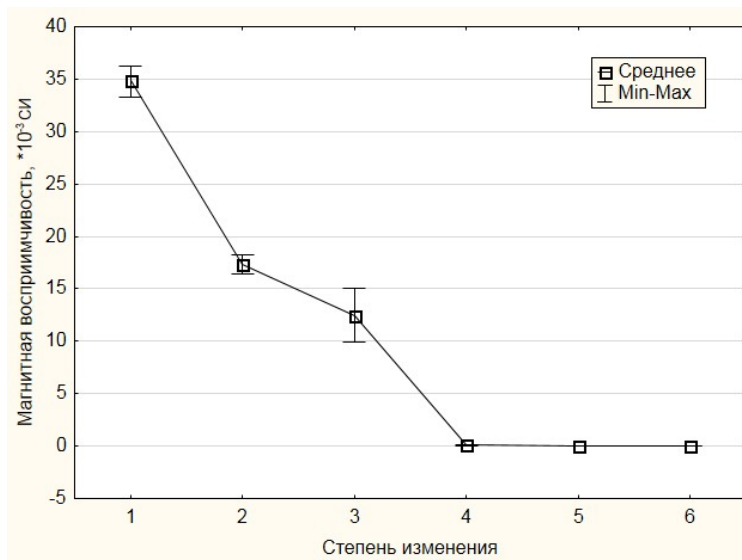


Рис. 3. Снижение магнитной восприимчивости с увеличением степени изменения андезитов. 1 - неизменные, 2 - слабо измененные, 3 - средне измененные, 4-6 монокварциты и серные опалиты

Гранты и благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 16-05-00501а, 16-05-00971а, 16-05-00007а). Исследования проведены с использованием оборудования, полученного в рамках реализации Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

Список литературы

1. Белоусов В.И., Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г. Геологическое строение и гидрогеологические особенности Паужетской гидротермальной системы // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 23-57.
2. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. 172 с.
3. Рычагов С.Н., Сандимирова Е.И., Сергеева А.В., и др. Состав пепла вулкана Камбальный (извержение 2017 г.) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 4. Вып. 36. С. 13-27.
4. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.
5. Сывороткин В.Л. Современный вулканизм Южной Камчатки и гидротермальный процесс // Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. С. 19-38.
6. Фролова Ю.В. Скальные грунты и лабораторные методы их изучения. М.: КДУ. 2015. 222с