

Влияние аргиллизации на изменение состава и свойств андезитов Восточно-Паужетского термального поля (Южная Камчатка).

И.Е. Большаков¹, Ю.В. Фролова¹, С.Н. Рычагов², М.С. Чернов¹

¹Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991

e-mail: bolshakov.ilya.210@yandex.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Введение

В течение полевых сезонов 2017-2019 годов на Паужетском месторождении термальных вод был проведен большой объем работ, включающий геофизические, геохимические и буровые работы. Большой интерес представляют данные, полученные по образцам андезитов, отобраным при колонковом бурении на Восточно-Паужетском термальном поле.

Толща гидротермальных глин, слагающая верхнюю часть разреза термального поля, уже в значительной степени изучена [1, 2, 3], тогда как закономерности изменения андезитов, слагающих основание поля, а также их свойств были изучены гораздо слабее.

Характеристика объекта исследования

Восточно-Паужетское термальное поле расположено на западном склоне северной оконечности Камбального вулканического хребта. Оно представляет особый научный интерес, так как расположено вдали от эксплуатационного участка, следовательно, условия разгрузки и циркуляции термальных вод и пара на поле и под ним можно считать максимально приближенными к естественным условиям.

Были исследованы образцы из 5 скважин, пробуренных непосредственно на термальном поле до глубины 8 метров, и одной скважины, пробуренной при разведке месторождения. Также был исследован образец неизмененного андезита, отобранный на небольшом удалении от термального поля, и образец «пропаренного» андезита, отобранный из активной паровой струи. Все образцы были разделены на 4 группы по степени измененности (рис. 1).

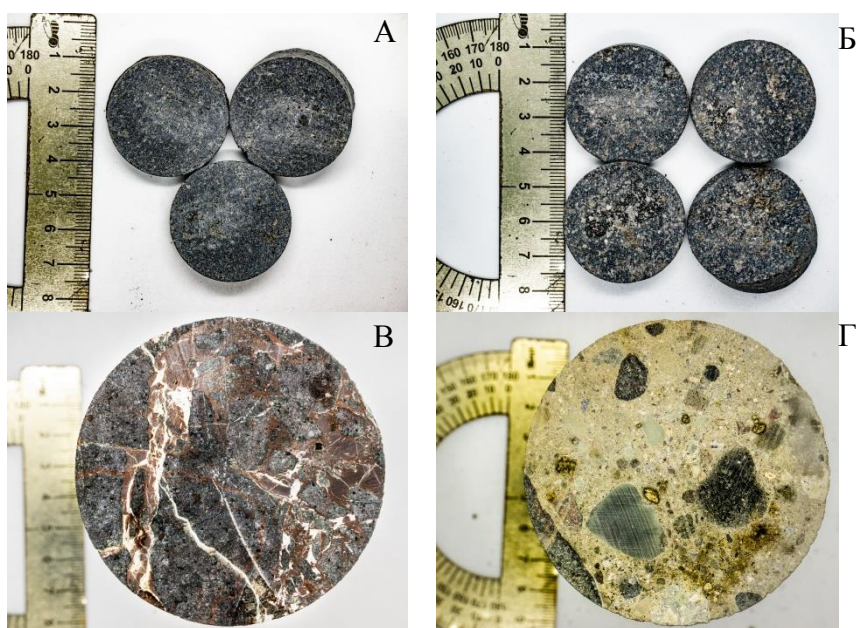


Рис. 1. Образцы андезитов разной степени изменения.

А – неизмененные, Б – слабо измененные, В – средне измененные, Г – метасоматические брекчии.

Первая группа (рис. 1А) представлена неизменным андезитом темно-серого цвета с порфировой структурой и массивной текстурой. Следы незначительных вторичных изменений заметны лишь на поверхности образцов. Вторая группа (рис. 1Б) представлена слабо измененными андезитами буровато-серого цвета с порфировой структурой и миндалекаменной текстурой. В порах и трещинах породы наблюдаются вторичные минералы. Андезиты третьей группы (средне измененные) (рис. 1В) имеют коричнево-зелено-серый цвет и отличаются от андезитов первых двух групп наличием обильного количества трещин, заполненных вторичными минералами, среди которых преобладают глинистые минералы, цеолиты, кальцит и др. Образцы четвертой группы (рис. 1Г) представляют собой метасоматические брекчии с различным соотношением обломков и цемента. В образцах этой группы большая часть исходного андезита полностью переработана и замещена глинистыми минералами и цеолитами. Порода настолько интенсивно переработана, что некоторые образцы при замачивании в воде теряют связность и разрушаются.

Методика изучения состава и свойств образцов

Все образцы были исследованы по стандартным методикам определения свойств горных пород. Были изучены следующие показатели свойств: плотность (ρ), плотность твердых частиц (ρ_s), пористость (общая (n) и открытая (n_o)), гигроскопическая влажность (W_g), водопоглощение (W_p), скорости упругих волн (V_p , V_s), динамический коэффициент Пуассона ($\mu_{дин}$) и модуль упругости ($E_{дин}$), прочности на одноосное сжатие (R_c) и на разрыв (R_p), а также магнитная восприимчивость (χ). Плотность, упругие и прочностные свойства были определены как в воздушно-сухом, так и водонасыщенном состояниях. Также был определен минеральный состав образцов путем изучения шлифов на оптическом микроскопе и методом рентгеновской дифрактометрии.

Изменение свойств андезитов в зависимости от степени гидротермальной переработки

Плотность андезитов закономерно уменьшается с увеличением степени гидротермальных изменений (рис. 2А). Это связано с тем, что образующиеся вторичные минералы – цеолиты и глинистые минералы, имеют существенно более низкую плотность (1.8-2.3 г/см³), чем первичные компоненты андезита. Кроме того, образование вторичных минералов сопровождается сильным увеличением пористости.

Пористость андезитов также имеет четкую зависимость от степени вторичной изменённости (рис. 2Б). Для неизменных андезитов средняя величина пористости – 2.6%, для слабоизмененных андезитов – 2.9%, средне измененных – 14.5%, а для метасоматических брекчий – 21.2%. Такое изменение пористости связано с постепенным увеличением количества вторичных минералов, таких как цеолиты и глинистые минералы, которые имеют гораздо большую пористость, чем исходные андезиты. Тенденция изменения пористости показывает, что при гидротермальном преобразовании пород преобладает процесс выщелачивания.

Модуль упругости снижается с увеличением степени изменения пород в четыре раза (рис. 2В) – от 62.7 ГПа у неизменных андезитов до 15.9 ГПа у метасоматических брекчий. Величина модуля упругости тесно связана с величиной пористости, которая сильно повышается с увеличением степени изменения андезитов (рис. 2).

Прочность на одноосное сжатие в воздушно-сухом состоянии изменяется аналогично многим изученным показателям, она уменьшается с увеличением степени изменения андезитов на порядок (рис. 2Г). Средняя прочность образцов неизменных андезитов равна 142.3 МПа, слабо измененных – 119.0 МПа, средне измененных – 36.8 МПа, а у метасоматических брекчий – 10.6 МПа. По-видимому, такой характер изменения прочности связан с тем, что с увеличением степени изменённости сильно

увеличивается трещиноватость образцов, и образующиеся по трещинам вторичные минералы гораздо слабее исходных андезитов. При нагружении образцы сильно измененных андезитов разрушались по контактам обломков, то есть их прочность полностью определялась прочностью вторичных минералов, цементирующих обломки.

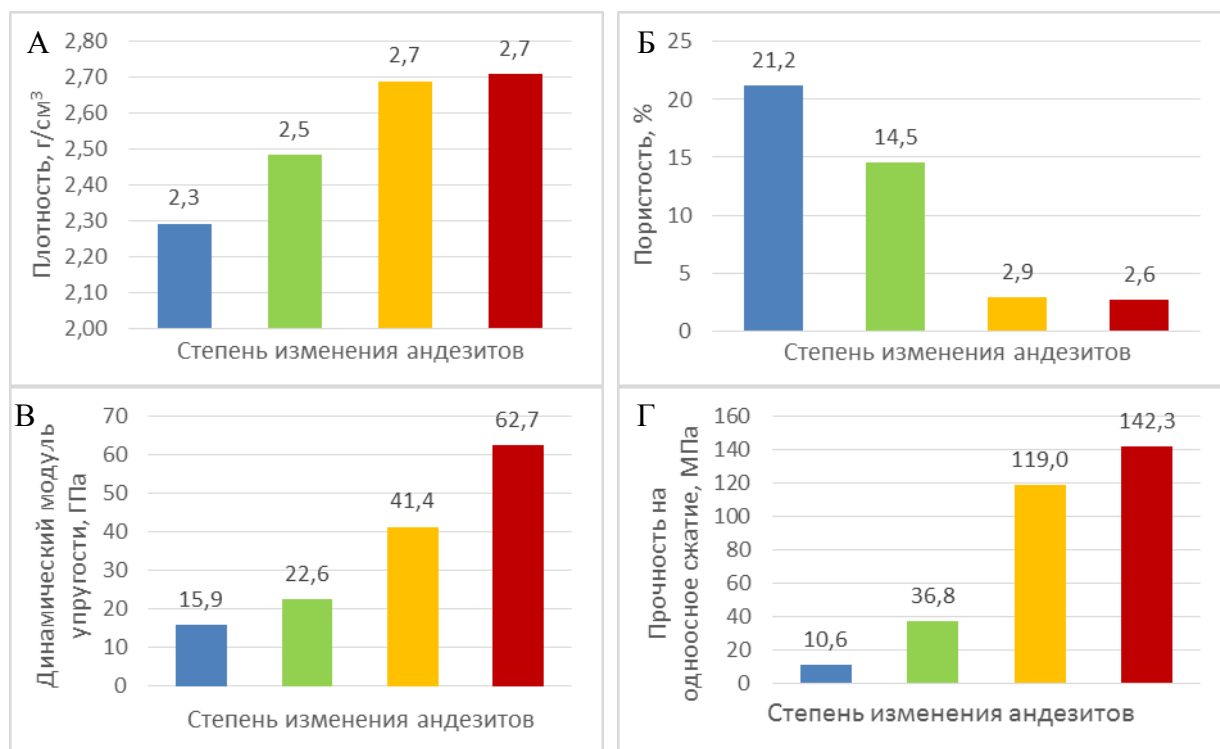


Рис. 2. Зависимость свойств андезитов от степени гидротермального изменения.

■ Метасоматическая брекчия, ■ Средне измененные андезиты, ■ Слабо измененные андезиты, ■ Неизмененные андезиты.

Результаты испытаний других прочностных и деформационных свойств носят схожий характер. Наблюдается тенденция сильного снижения прочностных и деформационных характеристик андезитов с увеличением степени их изменения, что в первую очередь связано с процессом аргиллизации.

Обсуждение результатов и заключение

По результатам исследований состава, строения и свойств пород, слагающих разрез Восточно-Паужетского термального поля, а также обобщения имеющихся литературных данных, можно сделать ряд выводов.

Восточно-Паужетское термальное поле сформировалось на андезитах, которые при активизации гидротермальной деятельности в данном районе начали активно изменяться. Первым было переработано вулканическое стекло, затем вторичные изменения начали развиваться по минералам-вкрапленникам в следующем порядке: плагиоклазы, пироксены, амфиболы, калиевый полевой шпат.

В разрезе термального поля, до глубины 7-8 м, выделяются три горизонта (снизу-вверх): трещиноватые андезиты, андезитовые брекчии и гидротермальные глины. На первом этапе в андезитах увеличивается трещиноватость, по трещинам фильтруются термальные растворы и пар, воздействуя, в первую очередь, на стенки трещин и формируя вторичные минералы. Постепенно трещины расширяются, преобразования начинают захватывать основной объем породы, выщелачивая и замещая первичные минералы. В результате андезиты превращаются в метасоматические брекчии. Максимальная преобразованность пород достигается в

приповерхностных условиях и выражается в полном изменении минерального состава исходных пород и превращении их в гидротермальные глины.

В ходе гидротермальных преобразований минеральный состав меняется с классического для андезитов (вулканическое стекло + вкрапленники плагиоклазов, пироксенов, амфиболов и КПШ) на смектит, цеолиты, кварц, кальцит и пирит.

Степень изменения пород сильно зависит от их пространственного положения в определенной части поля и глубины их залегания. Основным фактором, контролирующим процесс гидротермального изменения, является проницаемость пород.

В связи с изменением состава и строения исходных пород, меняются их физические и физико-механические свойства. При увеличении степени изменения андезитов уменьшаются: плотность грунта, скорость продольных и поперечных волн, модуль упругости, прочность на одноосное сжатие и разрыв и магнитная восприимчивость. Плотность, скорости упругих волн и модуль упругости снижаются вследствие увеличения пористости и изменения минерального состава. Прочность уменьшается из-за изменения структуры породы, увеличения количества неоднородностей, образования трещин и замещения первичных компонентов глинистыми минералами. Магнитная восприимчивость снижается из-за разложения титаномагнетита, а также парамагнитных минералов, таких как авгит и роговая обманка.

Благодарности

Авторы глубоко признательны коллегам по полевым работам и лабораторным исследованиям за помощь в отборе образцов и анализе полученных данных. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-05-00102). Исследования проведены с использованием оборудования, полученного в рамках реализации Программы развития Московского университета.

Список литературы

1. Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Чернов М.С. Гидротермальные глины геотермальных полей Южной Камчатки: новый подход и результаты исследований // Геохимия. 2012. № 4. С. 378-392.
2. Рычагов С.Н., Сергеева А.В., Чернов М.С. Минеральные ассоциации основания толщи глин как индикаторы флюидного режима Паужетской гидротермальной системы (Камчатка) // Тихоокеанская геология. 2017. Том 36. № 6. С. 90-106.
3. Феофилактов С.О., Рычагов С.Н., Букатов Ю.Ю. и др. Новые данные о строении зоны разгрузки гидротерм в районе Восточно-Паужетского термального поля (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2017. № 5. С. 36-50.