

УДК 624.131.4

Изменение андезитов Нижне-Кошелевского термального поля в процессе гидротермальной аргиллизации (Южная Камчатка)

**Ю.В. Фролова¹, М.С. Чернов¹, С.Н. Рычагов², Д.Д. Лисицина¹,
Р.А. Кузнецов¹, И.Е. Большаков¹, В.А. Кириченко¹**

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, 119991,
e-mail: frolova@mail.ru;

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Рассматриваются изменения вулканического массива в пределах Нижне-Кошелевского термального поля. Выделены стадии преобразования пород - от неизмененных андезитов до гидротермальных глин. Анализируется последовательное изменение минерального состава, микростроения, пористости, проницаемости и физико-механических свойств андезитов в зависимости от степени гидротермальной аргиллизации.

Введение

Активное освоение геотермальных ресурсов происходит во многих странах мира. В России в этом плане наиболее перспективным является Камчатский регион, в пределах которого функционируют десятки гидротермальных систем. Очень высокой гидротермальной активностью характеризуются южные районы Камчатского полуострова, где наиболее известной является Паужетская гидротермальная система. Ее исследование началось еще в XVIII в. С.П. Крашенинниковым, а в 50-60 гг. XX в. здесь велись масштабные геологоразведочные работы, завершившиеся строительством первой в СССР геотермальной станции. Недалеко от Паужетских источников располагается Кошелевский вулканический массив, к которому приурочена одноименная гидротермальная система. Она изучена в меньшей степени, по сравнению с Паужетской системой (Б.И. Пийп, 1937; С.И. Набоко, 1954; В.В. Аверьев, 1965; Е.А. Вакин и др., 1976; М.В. Писарева, 1987). Между тем, считается, что она стоит в одном ряду с крупнейшими пародоминирующими системами мира: Лардерелло (Италия), Матсукава (Япония), Гейзерс (США), Камоджанг (Индонезия) [2, 3].

Начиная с 2005 г. сотрудниками кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, совместно с лабораторией геотермии ИВиС ДВО РАН, в этом районе проводятся комплексные исследования, рассматривающие различные аспекты гидротермальной деятельности. В представленной работе рассматриваются гидротермальные преобразования пород на Нижне-Кошелевском термальном поле, анализируются сопутствующие им изменения физико-механических свойств, описываются геологические последствия данного процесса.

Геологические и геотермические условия

Кошелевский вулканический массив представляет собой вытянутый в широтном направлении скалистый хребет, состоящий из нескольких слившихся и сильно разрушенных стратовулканов, экструзивных куполов и субвулканических тел, образующих единый массив. В его пределах известно несколько термоаномалий, расположенных преимущественно на западном склоне массива, две из которых являются очень крупными: Верхне- и Нижне-Кошелевские термальные поля.

Нижне-Кошелевское поле сформировано на склоне Западно-Кошелевского вулкана на высоте 750–800 м в эрозивной котловине размером 250×500 м² (рис.1). Общий вынос тепла составляет около 24800 ккал/с. Здесь наблюдаются многочисленные паровые струи, кипящие водяные и грязевые котлы с температурой воды до 90-97°С (максимальная температура 117°С) [1]. Разгружающиеся в пределах поля термальные воды преимущественно кислые и слабокислые сульфатные и

гидрокарбонатно-сульфатные аммониевые воды, насыщенные углекислым газом, сероводородом, метаном, тяжелыми углеводородами [3].

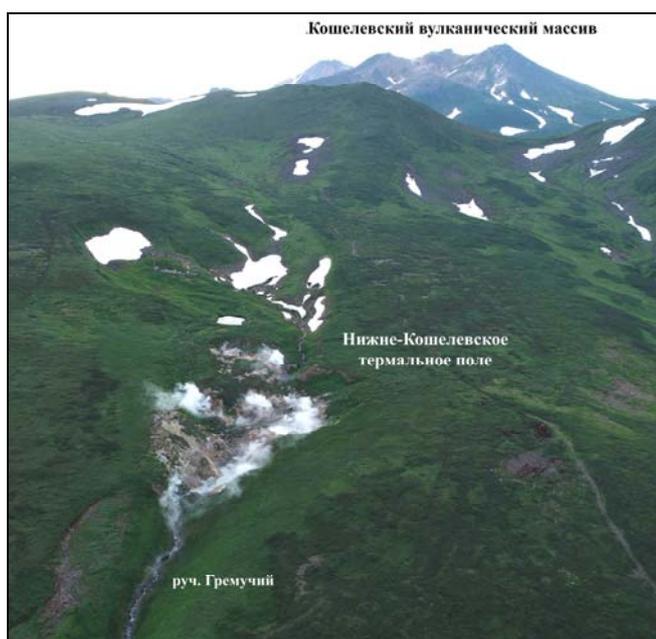


Рис. 1. Ниже-Кошелевское термальное поле. Общий вид (фото М.С. Чернова)

Фактический материал

Образцы для исследований отбирались как с поверхностных обнажений (более 20 обр.), так и из шурфов, пройденных на различных участках поля (шурфы №№ НК 1/09), 1/10 (6 обр.), 2/10 (11 обр.)). Среди них присутствуют образцы вулканогенных пород, в различной степени измененные термальными водами.

Отдельно были исследованы особенности преобразования пород поверхностными термальными водами. Через термальное поле протекает ручей Гремучий, берущий начало из родников с температурой 8–12°C. На выходе с термальной площади он имеет температуру 80-90°C и расход около 30-40 л/с. Образцы вулканитов отбирались из русла ручья - от его выхода с термального поля до устья (8 обр.).

Характеристика исходных пород

Склон Западно-Кошелевского вулкана, на котором образовано Ниже-Кошелевское термальное поле, сложен лавовыми потоками, преимущественно андезитового, реже андезидацитового состава. Андезиты в массиве плитчатые, трещиноватые, в образце – массивные. Структура пород порфировая. Вкрапленники представлены преимущественно плагиоклазами (до 2-3 мм), в меньшей степени – пироксенами (до 0,2-0,3 мм, редко до 1 мм) - моноклинными, реже ромбическими, ортоклазом, встречаются отдельные крупные гломеропорфировые сростки плагиоклаза и пироксена; присутствуют рудные минералы (до 2%). Вкрапленники практически свежие, встречаются лишь редкие трещины и дефекты. Следует отметить, что фенокристаллы плагиоклаза часто имеют зональное строение: центральные части имеют более основной состав, по сравнению с краевыми, где увеличивается содержание альбитовой компоненты. Структура основной массы интерсертально-гиалопилитовая, реже – микролитовая. Иногда в андезитах встречаются поры вытянутой извилистой формы, шириной около 0,1-0,2 мм, длиной до 0,5 мм. Породы очень плотные ($\rho=2,74-2,76$ г/см³), низкопористые ($n=5-7\%$, $n_o=1-3\%$), практически непроницаемые ($K_p<0,04$ мД), с высокими упругими ($V_p=4,6-5,1$ км/с, $E_d=34-56$ ГПа) и

прочностными ($R_c=145-190$ МПа) свойствами. Породы характеризуются высокой магнитной восприимчивостью $\chi=33-42 \cdot 10^{-3}$ СИ [4], поскольку в их составе присутствуют титаномагнетит и пироксены.

Изменение состава и свойств пород под действием термальных вод

Поскольку андезиты очень плотные и слабопроницаемые, то гидротермальная аргиллизация начинается по зонам трещиноватости в массиве пород, являющимися путями фильтрации термальных флюидов. Стенки трещин быстро перерабатываются, замещаясь смектитами. Постепенно трещины расширяются, и в зону переработки захватываются все большие участки, начинается переработка более глубоких частей массива [5]. Среди всех первичных компонентов первым преобразуется вулканическое стекло, как самый термодинамически неустойчивый компонент. Микролиты также претерпевают преобразования. На РЭМ-изображениях видно, что в неизмененных андезитах микролиты имеют правильную, идиоморфную форму, с четкими краями. При аргиллизации меняется их морфология, острые углы кристаллов сглаживаются, они приобретают ксеноморфные очертания, поверхность становится неровной, "изъеденной". Постепенно микролиты замещаются смектитами и кристобалитом.

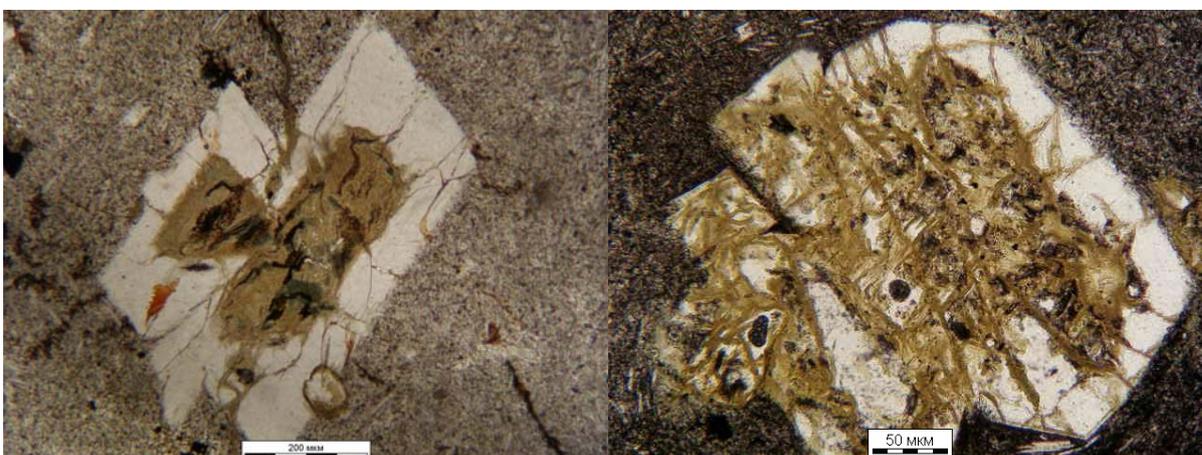


Рис. 2. Псевдоморфное замещение фенокристаллов плагиоклаза смектитами

Изменение фенокристаллов плагиоклазов имеет свои особенности. Образование глинистых минералов в кристаллах плагиоклаза обычно начинается по трещинам спайности и имеющимся дефектам. Постепенно они захватывают всю внутреннюю часть кристалла, тогда как внешняя остается неизменной (рис. 2). По-видимому, такой характер замещения связан с зональным строением плагиоклаза. Как было указано выше, центральная часть имеет более основной состав, а в краевой части увеличивается содержание альбитовой компоненты, соответственно, она более устойчива к воздействию термальных вод.

Помимо смектитов, среди вторичных минералов присутствуют высококремнистые цеолиты (гейландит, клиноптилолит) до 4-7%, карбонаты 3-4%, минералы кремнезема, пирит.

В процессе гидротермальной аргиллизации происходит выщелачивание вещества, т.е. процесс растворения первичных компонентов опережает процесс осаждения вторичных минералов. В результате формируется вторичная пористость, причем в некоторых случаях поры объединяются и выстраиваются в цепочки, образующие протяженные каналы, совпадающие с направлением движения флюидов сквозь породу. Происходит разуплотнение и разупрочнение андезитов - плотность снижается до $2,0-2,2$ г/см³, прочность - до 10-25 МПа, пористость увеличивается до 20-25% (открытая - до 11%), проницаемость повышается до 8,8 мД, породы становятся

гигроскопичными ($W_g \sim 3-4\%$). Данная тенденция в изменении свойств способствует дальнейшей активизации преобразований породы. Магнитная восприимчивость при аргиллизации уменьшается в несколько раз (до $5-10 \cdot 10^{-3}$ СИ) в результате разложения рудных минералов, в частности, титаномагнетита.

Конечным продуктом преобразования андезитов являются гидротермальные глины, образующие на термальном поле покров мощностью 1,5-3 м. Глины сложены в верхней части каолинитом и смектитами в основной толще (также присутствуют смешанослойные хлорит-смектиты, иллит-смектиты) и характеризуются псевдоморфной структурой, унаследованной от исходных андезитов. Толща глин очень неоднородная: во-первых, она содержит включения неполностью переработанных исходных пород, во-вторых, среди новообразований, помимо глинистых минералов, присутствуют минералы кремнезема, сульфиды, гематит, влияющие на свойства породы. При перерождении андезитов в глины происходит резкое разуплотнение и увеличение пористости до 60%. Толща пород приобретает пластические свойства (число пластичности $I_p = 29-30$), становится гигроскопичной, непрочной, сильно сжимаемой и неустойчивой при механическом воздействии.

Заключение

Термальные воды, действуя на вулканический массив, вызывают его интенсивную аргиллизацию, сопровождаемую существенным разуплотнением, формированием вторичной пористости и проницаемости, снижением деформационных, прочностных и магнитных свойств. Конечным продуктом преобразования андезитов являются гидротермальные глины, характеризующиеся такими специфическими свойствами как гигроскопическая влажность, пластичность, размокаемость, сильная сжимаемость, низкая прочность. Гидротермальные преобразования пород и изменение их свойств вызывают целый ряд геологических последствий, таких как локальное разрушение вулканического массива, изменение рельефа, активизация оползневых процессов, миграция и изменение режима термопроявлений и пр.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00102). Исследования проведены с использованием оборудования, полученного в рамках реализации Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

Список литературы

1. Вакин Е.А., Декусар З.Б., Серезников А.И., Спиченкова М.В. Гидротермы Кошелевского вулканического массива. В кн.: Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 58-84.
2. Писарева М.В. Зона природного пара Нижнекошелевского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 52-63.
3. Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В., Королева Г.П. Характеристика приповерхностного горизонта гидротермальных глин Нижне-Кошелевского и Паужетского геотермальных месторождений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. № 12. С. 116-134.
4. Фролова Ю.В., Кириченко В.А. Изменение петрофизических свойств андезитов под действием поверхностных термальных вод (Кошелевский вулканический массив, Южная Камчатка) // Материалы XVI Международной конференции "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле" (Москва-Борок, 28 сентября – 2 октября 2015 г.), Москва, ГЕОХИ РАН. Т. 1. С. 245-249.
5. Frolova J., Ladygin V., Rychagov S., Zukhubaya D. Effects of hydrothermal alterations on physical and mechanical properties of rocks in the Kuril-Kamchatka island arc // Engineering Geology, 2014, Elsevier BV (Netherlands), Vol. 183. P. 80-95.