

Гидротермальные преобразования пород на Южно-Камбальном Ближнем термальном поле и их геологические последствия

Фролова Ю.В.¹, Васильева М.А.¹, Рычагов С.Н.², Большаков И.Е.¹, Косоруков В.Л.¹

Hydrothermal alterations of rocks on the South Kambalny Blizhniy Thermal Field and their geological effects

Frolova J.V., Vasileva M.A., Rychagov S.N., Bolshakov I.E., Kosorukov V.L.

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, г. Москва;

e-mail: ju_frolova@mail.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В статье рассматриваются преобразования вулканогенных пород на Южно-Камбальном Ближнем термальном поле и прилегающих к нему территориях. Анализируются связанные с ними изменения физико-механических свойств пород и возникающие геологические процессы – оползни, эрозия, изменения рельефа и иные.

Введение

Камбальный вулканический хребет представляет собой тектоно-магматическое поднятие в структуре Паужетской вулкано-тектонической депрессии четвертичного возраста (Южная Камчатка). Основную часть хребта, вытянутого субмеридионально на 18-20 км, составляют цепочка стратовулканов, экструзии и субвулканические тела плиоцен-плейстоценового возраста. К хребту приурочены мощные термоаномалии, сконцентрированные в виде трех групп: Северо-, Центрально- и Южно-Камбальной [1, 2]. Особый интерес представляет последняя группа, наиболее приближенная к действующему вулкану Камбальный. В нее входят три термальных поля (т/п): Дальнее, Центральное и Ближнее.

Объектом исследования является Южно-Камбальное Ближнее т/п (ЮКБ). Оно расположено в глубокой котловине (полуцирке) в верховьях руч. Кратерный, имеет протяженность около 400 м при ширине 100-150 м (рисунок, а). Термопроявления, в виде парогазовых струй и парящих грунтов, локализованы на двух больших участках дна котловины [1, 2]. Следует отметить, что изменениями охвачены не только породы на участках разгрузки парогидротерм, но и прилегающие территории – борта котловины и обрамляющие ее хребтики, в том числе, экструзия Цветные Скалы.

Основная цель исследования заключалась в изучении трансформации пород под воздействием газогидротермальной деятельности, включая изменение их минерального состава, морфологии порового пространства и физико-механических свойств, и оценке ее роли в активизации различных геологических процессов и явлений, а также влияния на рельефообразование.

Материалы и методы

В ходе полевых работ, проведенных на Камбальном хребте в 2022 г., была собрана представительная коллекция образцов, в различной степени затронутых гидротермальной переработкой [4]. В районе ЮКБ и на прилегающих к нему территориях (склонах котловины и обрамляющих ее хребтиках) отобрано 30 образцов, максимально характеризующих все многообразие вулканогенных пород и продуктов их гидротермальных изменений. В большинстве точек измерены магнитная восприимчивость пород (каппаметр КТ-6) и высота упругого отскока молотка Шмидта – показатель, косвенно характеризующий механическую прочность материала.

В лаборатории из образцов были подготовлены пробы цилиндрической формы (d=3 см), на которых выполнялись определения физических (плотность, пористость, водопоглощение, скорости распространения Р- и S-волн), деформационных (модуль упругости, коэффициент Пуассона) и прочностных (прочность при одноосном сжатии, прочность на разрыв, сдвиговые характеристики) свойств. Все определения выполнены по стандартным методикам [3]. Для всех образцов подготовлены и описаны шлифы.

Минеральный состав уточнен методом рентгеновской дифрактометрии (дифрактометр Ultima-IV «Rigaku», аналитики В.Л. Косоруков, В.В. Крупская).

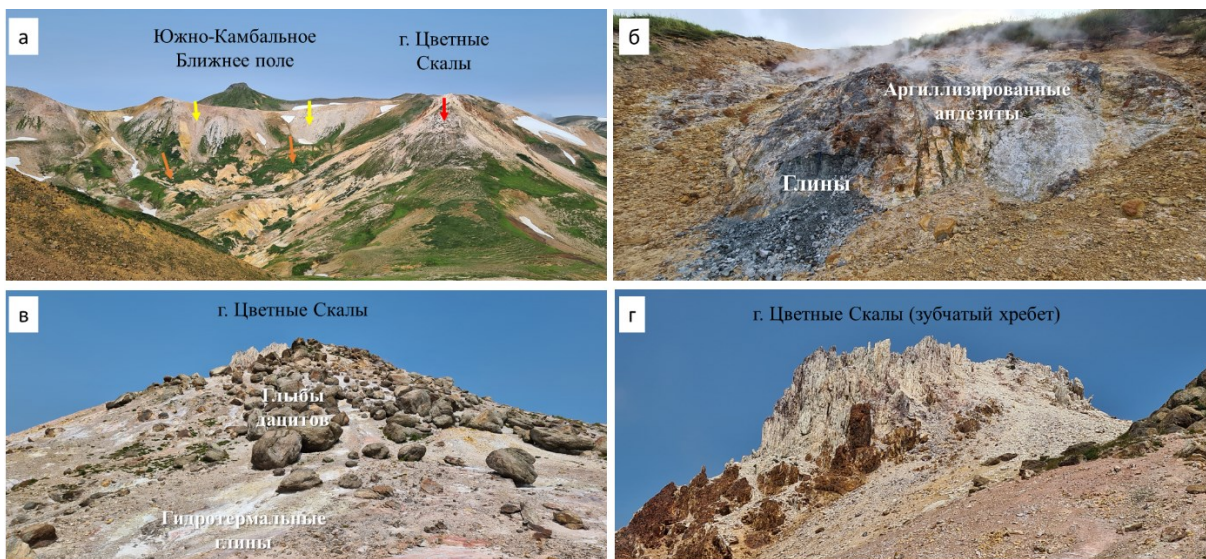


Рисунок. Район Южно-Камбального Ближнего термального поля, общий вид (а); аргиллизация массива андезитов на участке выхода парогазовых струй (б); глыбы дацитов на южном склоне экструзии Цветные Скалы (в); островеишинный зубчатый хребт экструзии Цветные Скалы (г). На рисунке (а) стрелками показаны: желтыми – осыпи, оранжевыми – оползневые тела, красной – глыбы дацитов.

Результаты и обсуждение

В отличие от Дальнего и Центрального т/п, которые сформированы в основном на андезитах-андезибазальтах [4], Ближнее т/п приурочено к экструзивному комплексу Цветные Скалы, сложенному более кислыми породами (дацитами, риодацитами), хотя в нижней части разреза также обнаружены андезиты-андезибазальты, по-видимому, относящиеся к вулкану Термальный.

Опалитизация. На всей территории термального поля, а также на склонах котловины и обрамляющих ее хребтиках, широко распространены продукты фации опалитов – белые, иногда пестроокрашенные породы, состоящие преимущественно из низкотемпературных минералов группы кремнезема с примесью глинистых минералов и сульфатов. Среди вторичных минералов в различных соотношениях присутствуют опал (до 63 %), кристобалит (до 85 %), алуниит (до 55 %), каолинит (до 34 %), тридимит (до 22 %), кварц (до 45 %), ярозит, анатаз. Данная минеральная ассоциация свидетельствует об образовании пород в условиях сернокислотного выщелачивания при относительно невысоких температурах ($\leq 100-150$ °C). Следует отметить, что опалиты слагают склоны котловины и окружающие ее хребтики, то есть область их распространения существенно превосходит площадь современной разгрузки парогазовых струй, выходы которых сосредоточены лишь на дне котловины и на склоне экструзии Цветные Скалы. С точки зрения изменения физических и прочностных свойств, и геомеханического состояния массива, опалитизация представляет собой сложный процесс, разнонаправленно влияющий на различные показатели. Главными факторами здесь являются соотношение кремнистых и глинистых минералов в составе породы, а также баланс выноса-привноса вещества, от которого зависит изменение пористости и геомеханических характеристик породы. В общем случае преобладает выщелачивание: плотность снижается от 2.42-2.47 г/см³ у дацитов до 1.6-1.8 г/см³ у опалитов, пористость, соответственно, повышается от 7-10 % до 25-35 %. Но отмечаются случаи, когда вторичные минералы (кварц, алуниит) кристаллизуются в трещинах и порах, вызывая противоположную тенденцию в изменении свойств. Измерения магнитной восприимчивости, выполненные в полевых

условиях, показали, что при опалитизации, вследствие разрушения железосодержащих минералов и выноса Fe, ее значения снижаются на 2-3 порядка: от $\kappa=9-17 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ у дацитов-риодацитов до $\kappa < 0.1 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ у опалитов.

Аргиллизация. На дне котловины, в местах разгрузок парогазовых струй в бортах прорезающего термального поля ручья, физико-химические условия переработки пород, по-видимому, несколько иные. Здесь обнаружены выходы андезитов-андезибазальтов, которые интенсивно перерабатываются, превращаясь в гидротермальные глины (рисунок, б). Основными вторичными минералами являются смектиты (25-26 %), хлорит (27 %), кварц (до 35 %), в небольших количествах отмечаются карбонаты, цеолиты, пирит. Данная минеральная ассоциация соответствует условиям гидротермальной аргиллизации, протекающей под действием субнейтрально-слабощелочных низкотемпературных флюидов. Исследовано изменение свойств в ряду: андезит → аргиллизированный андезит → гидротермальная глина. Исходные породы имеют порфиновую структуру, интерсертально-гиалопилитовую основную массу, массивную текстуру. Породы плотные ($\rho=2.70-2.79$ г/см³), низкопористые ($n=2.6-3.4$ %), прочные ($R_c=95-155$ МПа), с высокими значениями акустических ($V_p=4.8-6.7$ км/с; $V_s=2.7-3.5$ км/с) и деформационных ($E_d=49-89$ ГПа) свойств. При замещении первичных минералов глинистыми новообразованиями происходит разуплотнение пород ($\rho=2.29$ г/см³), формирование вторичной пористости ($n=17$ %), что закономерно приводит к значительному снижению прочности ($R_c=6$ МПа), уменьшению значений акустических и деформационных свойств. Конечным продуктом аргиллизации являются глины с плотностью 1.64 г/см³ и пористостью 38 %; их прочность несопоставимо ниже, чем у исходных пород (крошатся в руках). Глина проявляет пластические свойства (число пластичности $I_p=6$ %) и имеет высокую гигроскопическую влажность.

Помимо типичных опалитов и аргиллизитов, нередко встречаются их переходные разности, в составе которых присутствуют как смектиты, так и каолинит, алунит, кристобалит. Это может свидетельствовать о повышении кислотности флюидов во времени, либо о различии состава поровых и трещинных растворов.

Геологические последствия гидротермальной переработки пород. Интенсивная переработка вулканогенных пород, сопровождаемая значительным изменением их физико-механических свойств, имеет ряд геологических последствий, что хорошо наблюдается в пределах термального поля и на прилегающих к нему территориях.

В целом для термальных полей характерна высокая динамика происходящих процессов. В связи с постоянной миграцией термопроявлений, участки образования опалитов также постоянно перемещаются, кроме того, вероятно изменение интенсивности гидротермальной деятельности во времени, поэтому площади распространения измененных пород обычно значительно превосходят участки современных термопроявлений. Перемещение выходов газопаровых струй по площади поля или изменение их режима связаны не только с эндогенными, но и с экзогенными геологическими процессами – колебанием уровня грунтовых вод; «ухудшением» физико-механических свойств пород при гидротермальных преобразованиях, инициирующим оползневые процессы; изменением порово-трещинного пространства массива и его фильтрационных свойств.

Разуплотнение и снижение прочности пород вследствие гидротермальной переработки способствует активизации эрозионных и склоновых процессов. По бортам котловины, в которой расположено ЮКБ, наблюдаются проявления склоновых процессов в виде мелких оползней, обвалов и осыпей (рисунок, а). Среди оползней выделяются два основных типа – оползни скольжения (блоковые) и оползни течения. Например, серия оползневых блоков с хорошо выраженными стенками отрыва наблюдается в северной части котловины. На южном склоне Цветных Скал

наблюдается скопление крупных глыб дацитов, обрушению которых поспособствовала расположенная ниже ослабленная зона гидротермальных глин (рисунок, в), нагретых до 96-97 °С.

Гидротермальные изменения пород, прежде всего, развитие глинистых минералов, активизирует и ускоряет процесс физического выветривания. Так, на обрамляющих котловину хребтиках, гидротермально-измененные скальные массивы дезинтегрированы вплоть до «разборной скалы», в результате чего быстро разрушаются, в свою очередь, способствуя активизации склоновых процессов по бортам котловины.

От свойств пород во многом зависят формы рельефа. Так, массив Цветные Скалы, сложенный прочными массивными опалитами (возможно, вплоть до вторичных кварцитов), образует островершинный зубчатый хребет (рисунок, г). На его южном, в целом крутом, склоне наблюдается выположенный участок, приуроченный к слабому прослою опал-каолинитовых пород. Формирование основной котловины термального поля обусловлено не только эрозийной деятельностью разгружающихся флюидов и протекающего ручья, но и наличием слабых, легко разрушающихся гидротермально измененных пород.

Заключение

В пределах Южно-Камбального Ближнего термального поля и на прилегающих к нему территориях широко распространены породы фации опалитов, образовавшиеся в результате сернокислотного выщелачивания дацит-риодацитового массива. Среди вторичных минералов преобладают минералы кремнезема, каолинит, алунит, ярозит. В местах разгрузок парогазовых струй на дне котловины физико-химические условия, по-видимому, несколько иные: здесь преобладает аргиллизация прорезаемых ручьем андезитов-андезибазальтов, вплоть до их трансформации в глины преимущественно смектитового состава с хлоритом, кварцем и карбонатами. Помимо типичных опалитов и аргиллизитов встречаются их переходные разности, что может свидетельствовать о повышении кислотности флюидов во времени, либо о различии состава поровых и инфильтрационных трещинных флюидов. Область распространения измененных пород существенно превосходит площадь современных термопроявлений. Переработка пород сопровождается значительным изменением их физико-механических свойств, что в свою очередь активизирует эрозию, оползневые и другие геологические процессы.

Работа выполнена в рамках государственного задания МГУ им. М.В. Ломоносова с использованием оборудования (дифрактометр Ultima-IV «Rigaku»), приобретенного в рамках реализации Программы развития Московского университета, а также темы НИР ИВиС ДВО РАН № FWME-2024-0005.

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 / Отв. ред. В.М. Сугробов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 23-58.
2. Структура гидротермальной системы / С.Н. Рычагов, Н.С. Жатнуев, А.Д. Коробов и др.; отв. ред. В.И. Белоусов, И.С. Ломоносов. М.: Наука, 1993. 295 с.
3. Фролова Ю.В. Скальные грунты и методы их лабораторного изучения. М.: КДУ, 2015. 222 с.
4. Фролова Ю.В., Рычагов С.Н., Чернов М.С. и др. Инженерно-геологические аспекты изменения вулканогенных пород в зоне кислотного выщелачивания Южно-Камбальных термальных полей (Южная Камчатка) // Инженерная геология. 2020. Т. XV. № 1. С. 36-51. <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2020-15-1-36-51>