

Влияние температуры на прочностные свойства гидротермальных глинистых грунтов Паужетского месторождения

Р.А. Кузнецов¹, М.С. Чернов¹, В.Н. Соколов¹, В.В. Крупская^{1,2}

¹*Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва; e-mail: chernov@geol.msu.ru*

²*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 119991, Москва; e-mail: krupskaya@ruclay.com*

На примере гидротермальных глинистых грунтов, распространенных непосредственно в областях гидротермальных разгрузок в пределах Восточно-Паужетского термального поля, проведен анализ влияния температуры грунтов на их физико-механические свойства. Были детально исследованы химико-минеральный состав, макро- и микростроение и свойства образцов гидротермальных глинистых грунтов. Свойства грунтов изучались как в массиве полевыми методами, так и для образцов в лабораторных условиях.

Гидротермальные глинистые грунты представляют собой первый от поверхности горизонт в пределах современных термальных полей, распространенный в районах активного вулканизма. Такие глинистые грунты формируются в результате гидротермальных преобразований приповерхностных горных пород при взаимодействии с высокотемпературным флюидом. Характерной особенностью этих грунтов является строение, во многом повторяющее строение материнской породы. Поскольку процессы замещения и преобразования пород протекают в стесненных условиях, пространственное распределение структурных элементов сохраняется даже после того, как полностью меняется минеральный состав [1,2]. Кроме того, на стенках трещин, по которым поднимается флюид, осаждаются аморфные формы кремнезема и минералы железа (рис. 1). В результате такого осаждения формируются более прочные контакты, в силу наличия которых, можно говорить о «скрытотекучей» консистенции грунтов. То есть несмотря на полное водонасыщение, грунты в массиве не проявляют текучих свойств.

Поскольку глинистые грунты представляют собой высокодисперсные системы, то для грунта в водонасыщенном состоянии важными факторами, определяющими свойства, будут состояние воды в порах и пленки связанной воды, формирующиеся на поверхности частиц. При этом, толщина этих пленок, вязкость воды и энергия взаимодействия твердых частиц с жидкостью в значительной степени зависят от температуры [3]. Таким образом, в результате изменения вязкости воды и толщины гидратных пленок под воздействием температуры, свойства грунта так же будут подвержены изменениям. Влияние положительных температур на свойства глинистых грунтов изучали В.А. Королев [4], С.Р. Месчан [5], E.W. Gadzama, С.А. Noble и другие исследователи. В связи с тем, что температура гидротермальных глинистых грунтов в массиве изменяется в диапазоне от 20 до 100 градусов Цельсия, исследование взаимосвязи температуры и свойств грунтов именно этого генезиса представляется наиболее актуальным.

Объектом исследования были выбраны грунты Восточно-Паужетского термального поля. Методом рентгеновской дифрактометрии был определен минеральный состав для ряда образцов, отобранных с разных глубин из шурфа и скважин, пройденных в пределах поля. Для всех изученных образцов характерно высокое содержание глинистых минералов – не менее 50 %, при этом, вниз по разрезу увеличивается содержание минералов группы смектита и смешанослойных фаз, тогда как ближе к поверхности достаточно высоко содержание каолинита. Термический анализ образцов показал, что интенсивная дегидратация происходит до температуры

82 °С, после чего, с дальнейшим ростом температуры вода активно выходит из кристаллической решетки слагающих образец глинистых минералов до 136 °С.

Для изучения строения образцов применялись методы компьютерной рентгеновской томографии (μКТ) и растровой электронной микроскопии (РЭМ). На рисунке 1 представлены результаты томографической съемки, на которых отчетливо видны кристаллизовавшиеся по трещинам минералы железа и аморфные формы кремнезема. На полученных РЭМ-изображениях (рис. 2) хорошо видно преобладание агрегатов глинистых минералов и неоднородность их распределения. По результатам гранулометрического и микроагрегатного анализов можно сказать, что преобладающая фракция в большинстве образцов – глинистая (частицы диаметром менее 1 мкм), при этом, в естественном сложении большая их часть находится в агрегатах с диаметром от 0,01 до 0,05 мм, что обуславливает высокие коэффициенты агрегированности. Кроме того, для ряда образцов был проведен отдельно гранулометрический анализ ультрадисперсной фракции, по результатам которого можно судить о высоком содержании частиц (10-28%), размером не более 100 нм. Присутствие наночастиц является одним из факторов, обуславливающих высокую физико-химическую активность грунтов и способность удерживать большое количество воды.

В связи с высоким содержанием глинистых минералов в составе исследуемых грунтов и высокой дисперсностью для них характерны высокие значения влажностных показателей: как естественной влажности, так и влажностей максимальной молекулярной влагоемкости, верхнего и нижнего пределов пластичности. Так естественная влажность изменяется в пределах от 52 до 115 % (от массы сухого грунта).

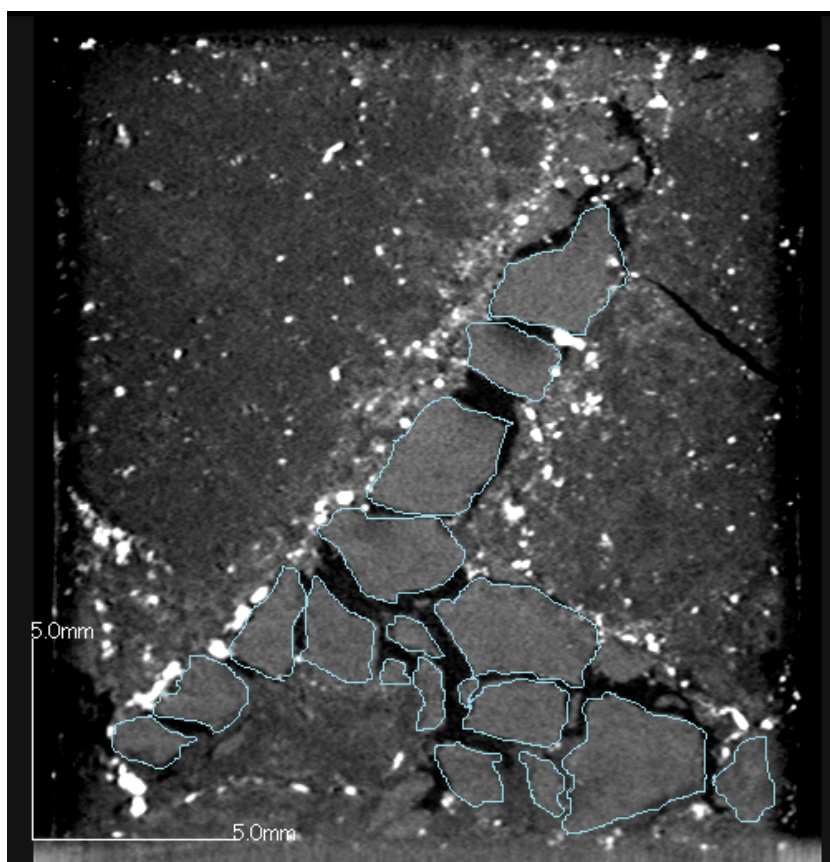


Рис. 1. μКТ-изображение образца гидротермального глинистого грунта при увеличении 12 раз (оттенки серого соответствуют структурным элементам различной плотности: наиболее светлые – более плотные, черные – поры; голубым обведены обломки опала)

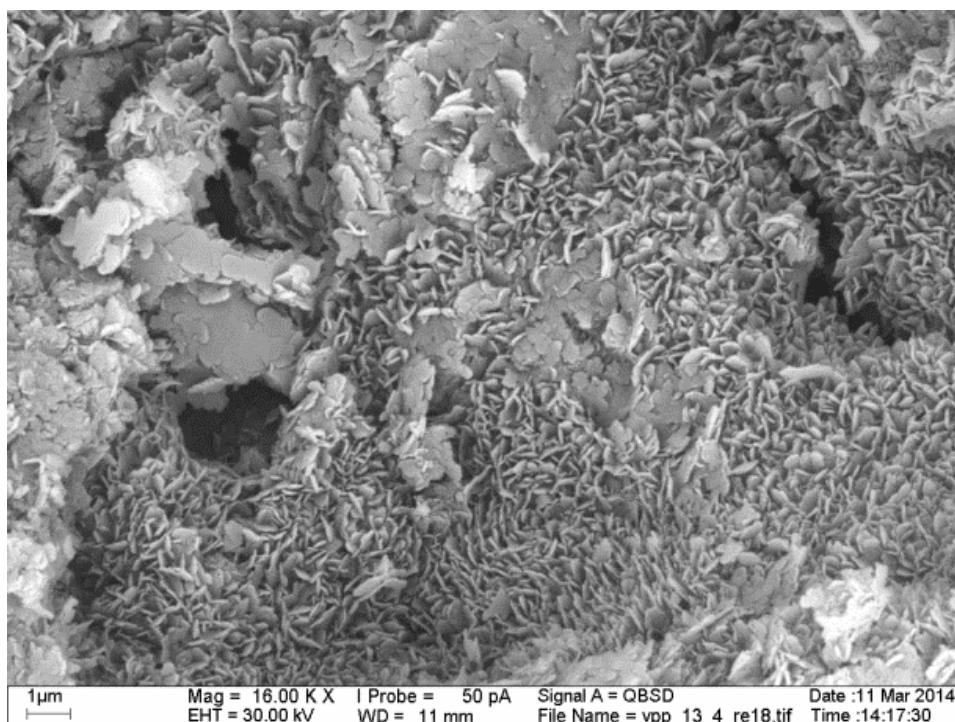


Рис. 2. РЭМ-изображение микроструктуры образца гидротермального глинистого грунта при увеличении 16000 раз

Показатели физико-механических свойств определялись различными методами, как полевыми, так и лабораторными. В полевых условиях грунты испытывались методом вращательного среза и задавливанием конического зонда статическими нагрузками. Результаты полевых испытаний позволили выделить в толще глинистых грунтов несколько горизонтов, характеризующихся различными сопротивлениями срезу и пенетрации зонда.

Для оценки влияния роста температуры на прочностные свойства исследуемых грунтов была проведена серия сдвиговых испытаний. Поскольку в естественном сложении гидротермальные глины весьма неоднородны, для исключения влияния особенностей строения на их прочностные свойства из образцов готовились пасты. Для этого образцы растирали, просеивали через сито 1 мм и замачивали до влажности, близкой к влажности верхнего предела пластичности. Подобная методика подготовки образцов позволила наиболее корректно проводить исследования по влиянию температуры на прочностные свойства исследуемых грунтов. Полученные в результате такой подготовки образцы по классификации ГОСТ 25100-2011 соответствуют глинам тяжелым и глинам легким пылеватым мягко- и текучепластичной консистенции.

Проведенные испытания показали, что для гидротермальных глинистых грунтов Восточно-Паужетского термального поля с повышением температуры в диапазоне температур от 20 до 90 °С характерно снижение сцепления. Что объясняется уменьшением толщины пленок связанной воды на поверхности минеральных частиц, сопровождающимся снижением энергии связи между частицами и агрегатами. Изменение угла внутреннего трения с увеличением температуры в обозначенном диапазоне имеет менее однозначный характер. Однако, для всех исследованных образцов характерно увеличение угла внутреннего трения при повышении температуры от 50 до 90 °С. Вероятно, в этом диапазоне температур связанная вода переходит в свободную или толщина пленок связанной воды становится достаточно малой для того, чтобы в ходе сдвига увеличивалось число непосредственно контактирующих частиц и агрегатов, что и повышает трение внутри образца. Также снижение вязкости и перераспределение воды приводит к возможности более быстрой переориентации

структурных элементов в зоне сдвига, за счет чего увеличивается площадь контактов между частицами и агрегатами, соответственно, угол внутреннего трения возрастает. Изменения значений угла внутреннего трения гидротермальных глинистых грунтов при повышении температур от 20 до 50 °С не имеют явно выраженного тренда и требуют более детального изучения.

Результаты исследования позволяют сделать вывод, что прочностные свойства гидротермальных глинистых грунтов в существенной мере зависят от их температуры, причем рост температуры может резко снизить прочность грунтов. Учитывая тот факт, что современные термальные поля – это динамично меняющиеся системы, где могут происходить довольно быстрые изменения, как с ростом, так и с падением температуры, приводящее к изменению состояния и прочности массива гидротермальных глинистых грунтов. Все это может сыграть решающую роль в активизации склоновых процессов в пределах геотермально прогретых участков, например, оползневых.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты РФФИ 16-05-00971а, 17-05-01045а). В качестве аппаратной базы для исследований применялись рентгеновский дифрактометр Rigaku Ultima IV (Япония), РЭМ LEO 1450VP (Германия) и КТ Yamato TDM 1000H-II (Япония), приобретенных в рамках реализации Программы развития Московского университета.

Список литературы

1. Чернов М.С., Соколов В.Н., Белобородов Р.М. и др. О формировании свойств современных глинистых грунтов гидротермального генезиса // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. 18. Материалы конференции. Москва: РУДН, 2016. С. 105-110.
2. Фролова Ю.В., Чернов М.С., Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Мосин А.М., Кузнецов Р.А. Преобразование андезитов в разрезе Восточно-Паужетского термального поля (Южная Камчатка) // Материалы XX региональной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы, посвященной дню вулканолога» (30-31 марта 2017 г.). Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 223-226.
3. Дерягин Б.В. Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок. 1986. 206 с.
4. Королёв В.А., Коломенский Е.Н., Соколов В.Н. Влияние температуры на изменение микростроения водонасыщенных глин при их уплотнении // Инженерная геология, журнал АН СССР. 1979. №2. С. 77-86.
5. Месчан С.Р., Галстян Р.Р. Исследование компрессионной ползучести грунта при высоких температурах // «Изв. вузов. Строительство и архитектура», 1973, № 11. С. 140-144.